

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

THE INTERNATIONAL FOUR-LANGUAGE CEMENT JOURNAL

MANAGING EDITOR. H. L. CHILDE. CONSULTING TECHNICAL EDITOR: S. G. S. PANISSET.

ENGLISH SECTION
PARTIE FRANCAISE PAGE 911
DEUTSCHER TEIL SEITE 937
SECCIÓN ESPAÑOLA PÁG 963

The Rotary Kiln in Cement Manufacture.—X.

By W. GILBERT, Wh.Sc., M.Inst.C.E.

Drier without Brickwork Chamber (Counter Flow).

(134) Since the effect of the brickwork chamber on the rate of heat transmission to the coal has been shown to be relatively small an examination is now made of the performance of the drier when the brick chamber is omitted, and no heat supplied to the outside of the shell. This type of drier is used for drying a wide variety of materials in practice.

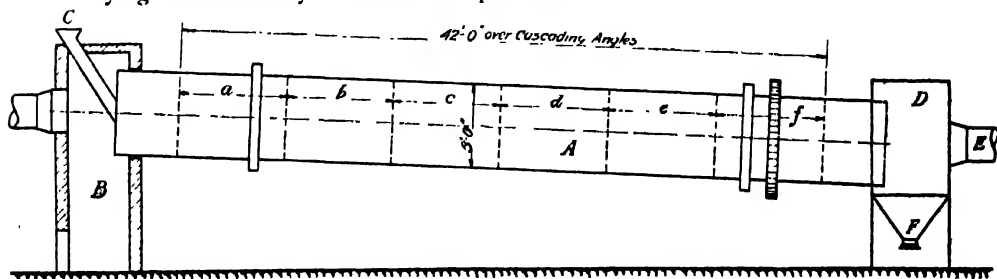


Fig. 40.

A diagram of the arrangement is shown in Fig. 40. The shell A is 5 ft. in diameter and 42 ft. long over the cascading angles as before; the feed-hood is marked B, and the coal feed-chute, C. Hot air or gases are supplied at a temperature of 700 deg. F. by the pipe E to the discharge hood D; the heat may be taken from the rotary kiln, or supplied by a furnace. The coal is discharged at F. The drier is worked on the counterflow system, that is, the

coal and the hot gases travel in opposite directions. The output, as before, is 5 tons of coal per hour, reckoned dry, the initial moisture being 15 per cent.

(135) The temperature diagram ultimately obtained is shown in Fig. 41. The gas temperature range is 700 deg. to 160 deg. F., and the coal temperature range 60 deg. to 300 deg. F., as before. A curve showing the shell temperature at any point in the length of the drier is also given. Heat is mainly transferred direct from the gas to the cascading coal; a proportion, however, is transmitted from the gas to the shell. The shell in turn radiates some of the heat which it receives to the coal, and the balance escapes to atmosphere from the outer surface.

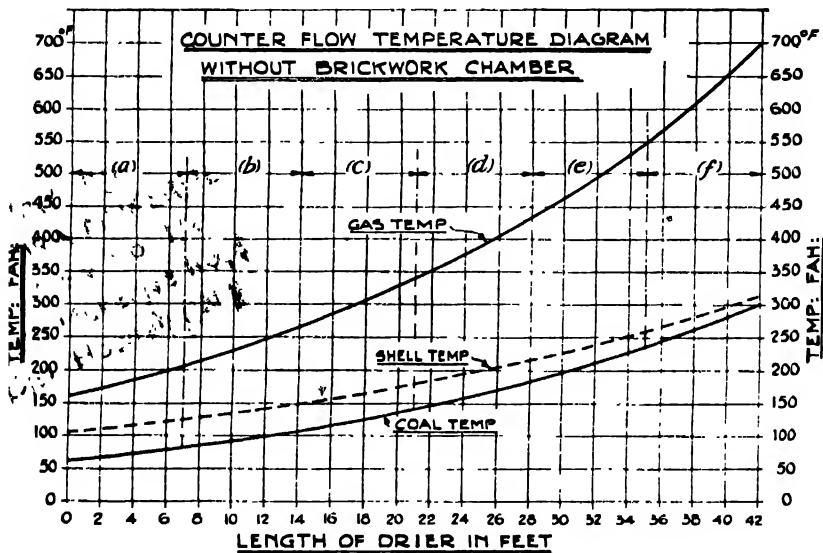


Fig. 41.

The heat is transferred proportionately as follows:				Per cent.
(a)	From hot gases to coal direct	...	...	92.8
(b)	From hot gases to shell	...	...	7.2
				<hr/> 100.0

The heat supplied to the shell is subdivided into:				Per cent.
(c)	Radiation from inner surface of shell to coal	...	...	1.1
(d)	Loss from outer surface of shell to atmosphere	...	...	6.1
				<hr/> 7.2

The omission of the brickwork increases the shell radiation loss from 2.4 to 6.1 per cent., refer (112), but the amount is relatively small.

(136) **Heat Required per Minute.**—From para. (115) the heat required to dry the coal is 51,744 B.T.U.'s; to this must be added the shell radiation loss of 3,365 B.T.U.'s (as calculated later), making a total of 55,109 B.T.U.'s. Since the gas temperature range is 540 deg. F. the weight of gas required per minute is:

$$\frac{55,109}{540 \times 0.24} = 425 \text{ lbs.}$$

(137) The length of 42 ft. is divided into six parts as before. The items required for calculation purposes are generally similar to those listed in para. (121). Details are as follows:

- | | | | |
|---|---------------------------------|--------|-------------------------|
| (a) Value of W inside shell | $= \frac{425 \times 60}{19.64}$ | ... .. | $= 1,300$ |
| (b) Corresponding value of Hc for heat transmission between the gas and the inside of the shell | ... | ... | 2.00 |
| (c) Value of Hc for heat transfer between the gas and grade VIII coal, refer (114) | ... | ... | 22.5 |
| (d) Area of shell surface in a length of 7 feet | ... | ... | $= 110 \text{ sq. ft.}$ |
| (e) Area of the coal surface in cascade in a length of 7 feet is assumed to be 7×15.0 | ... | ... | $= 105 \text{ sq. ft.}$ |

(138) In the formulæ below the symbols gTi , gTr , cTi , cTr , Qr , S , Td , and Hc have the meanings assigned to them in para. (126), and in addition:

Qs = heat loss from outer surface of shell to atmosphere.

The heat transferred to the coal in a length of 7 feet now becomes

$$Qr + \frac{Hc \times S \times Td}{60} = Qr + \frac{22.5 \times 105 \times Td}{60} = Qr + 39.4 Td.$$

The heat given up by the gas per length is $39.4 Td + Qs + Qr$.

Proceeding generally as in (128) it is found that:

$$gTr = 0.43 (gTi - cTi) + \frac{Qs}{84} + \frac{Qr}{91.6} \dots \dots \dots (17)$$

$$\text{and } cTr = \frac{gTr}{2.12} - \frac{Qs}{216} \dots \dots \dots (18)$$

(139) The figures in detail which relate to the heat transmission are given in Table XIII. To commence, the gas and coal temperature curves in Fig. 41 are sketched in provisionally since the initial and final temperatures are fixed. Line (a) in the Table corresponds to the length (a) marked on the graph.

The method of filling in line (a) is as follows:

Cols. (1) and (2): The values of gTi and cTi have previously been fixed.

Cols. (3) and (4): The average temperatures are taken from the provisional curves on the graph.

Col. (5): The average shell temperature has to be assumed. If it is correct the quantity in Col. (6) will be equal to the sum of the quantities in Cols. (7) and (8).

Col. (6): The temperature difference, as obtained from Cols. (3) and (5) is $183 - 113 = 70 \text{ deg. F.}$ Using the values given in (137), (b and d), we have
heat from gas to shell $= \frac{2.0 \times 110 \times 70}{60} = 257 \text{ B.T.U.'s.}$

Col. (7): For the average shell temperature given in Col. (5) the heat dissipated from the shell to the atmosphere is taken from Table IV, para. (11). The heat loss in B.T.U.'s per square foot per hour is $66 + (13 \times 2.04) = 92.5$, hence

$$Qs = \frac{92.5 \times 110}{60} = 170.$$

Col. (8): Heat radiated from shell to coal. We have:

Absolute temperature of shell $= 461 + 113 = 574 \text{ deg. F.}$

Absolute temperature of coal $= 461 + 70 = 531 \text{ deg. F.}$

$$\text{hence } Qr = \frac{110}{60} \times \frac{1.6 (574^4 - 531^4)}{10^9} = 85.$$

TABLE XIII.

SINGLE SHELL ROTARY DRIER, COUNTER FLOW.

All heat quantities are in B.T.U.'s per minute, per length of 7 feet. All temperatures are in degrees Fah.

Portion of shell.	Gas temperature initial (gT_1).	Coal temperature initial (cT_1).	Gas temperature average (gTa).	Coal temperature average (cTa).	Shell temperature average (sTa).	Heat from gas to shell.	External heat loss from shell (Q_s).	Heat radiated from shell to coal (Q_r).	Sum of Coals. (7) and (8) ($Q_s + Q_r$).	Gas temperature rise (gTr).	Coal temperature rise (cTr).	Gas temperature final (gT_2).	Coal temperature final (cT_2).	Temperature difference gas and coal (Td).	Heat transferred from gas to coal (39.4 Td).
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
(a)	160.0	60.0	183	70	113	257	170	85	255	45.9	20.8	205.9	80.8	113	4,450
(b)	205.9	80.8	235	94	137	360	264	97	361	58.0	26.2	263.9	107.0	141	5,550
(c)	263.9	107.0	301	124	164	502	390	106	496	73.3	32.8	337.2	139.8	177	6,970
(d)	337.2	139.8	384	161	198	684	571	113	684	92.9	41.1	430.1	180.9	223	8,790
(e)	430.1	180.9	489	207	237	925	810	113	923	118.0	52.9	548.1	233.8	282	11,100
(f)	548.1	233.8	623	267	285	1,240	1,160	84	1,244	149.9	65.3	698.0	299.1	356	14,020
	—	—	—	—	—	3,964	3,365	598	3,963	538.0	239.1	—	—	—	50,880

Col. (9) : The quantity in Col. (9) is nearly equal to that in Col. (6), showing that the value assumed for the average shell temperature in Col. (5) is so far correct.

Cols. (10) and (11) : The gas temperature rise (gTr) and the coal temperature rise (cTr) in the seven foot length are calculated by formulæ (17) and (18), para. (138), values for gTi , cTi , Qs and Qr being taken from line (a).

Col. (12) : The gas temperature at the end of the seven foot length is obtained by adding the figures in Cols. (1) and (10).

Col. (13) : The coal temperature at the end of the seven foot lengths (cTe) is found by adding the figures in Cols. (2) and (11).

A further check on the accuracy of the figures in line (a) has now to be made.

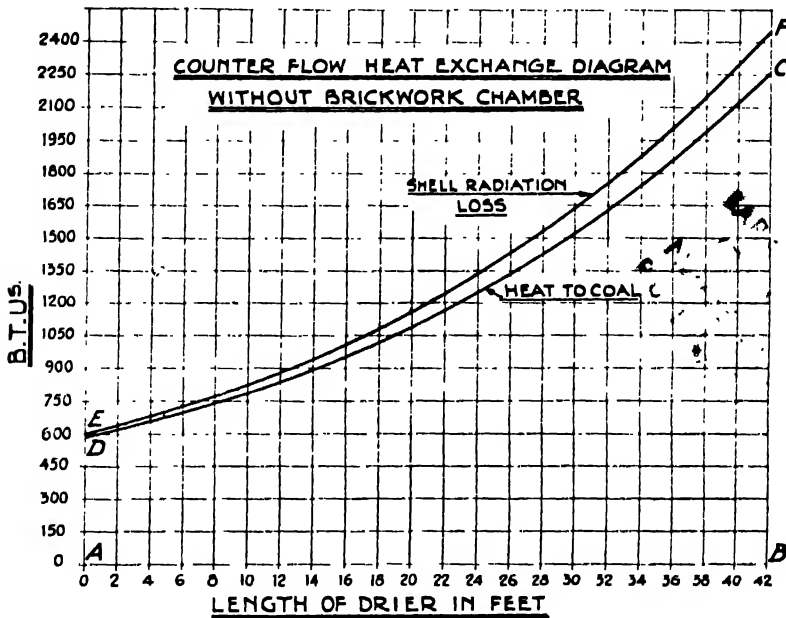


Fig. 42.

When deriving formulæ (17) and (18), para. (138), it was assumed that $gTu = gTi + \frac{1}{2} gTr$, also that $cTa = cTi + \frac{1}{2} cTr$. Inserting the values for line (a) we have

$$gTa = 160.0 + \frac{45.9}{2} = 183 \text{ and}$$

$$cTa = 60.0 + \frac{20.8}{2} = 70.$$

These results check with the values provisionally assumed in Cols. (3) and (4), hence line (a) is now correct. If the figures in Cols. (3) and (4) did not agree, they would be replaced by 183 and 70 as found above, and line (a) then recalculated.

Col. (14) : This is $gTa - cTa$, as taken from Cols. (3) and (4), after the figures have been proved to be correct.

TABLE XIV.

SINGLE SHELL ROTARY DRIER, PARALLEL FLOW

All heat quantities are in B.T.U.'s per minute, per length of 7 feet All temperatures are in degrees Fah

Portion of shell.	(1) Gas temperature initial (t_1)	(2) Coal temperature initial (t_1)	(3) Gas temperature average (t_a)	(4) Coal temperature average (t_a)	(5) Shell temperature average (t_a)	(6) Heat transferred from gas to shell	(7) External heat loss from shell (Q_s)	(8) Heat radiated from shell to coal (Q_r)	(9) Sum of Cols. (7) and (8) ($Q_s + Q_r$)	(10) Gas temperature fall (t_f)	(11) Coal temperature rise (t_r)	(12) Gas temperature final (t_2)	(13) Coal temperature final (t_2)	(14) Temperature difference gas and coal (T_d)	(15) Heat transferred from gas to coal ($41.25 T_d$)
(a)	860	60	731	120	279	1,660	1,115	547	1,662	259	119	601	179	611	25,250
(b)	601	179	532	210	249	1,038	895	151	1,046	138	62	463	241	322	13,300
(c)	463	241	426	257	234	705	796	— 96	700	74	32	389	273	169	6,975
(d)	389	273	369	281	227	520	752	— 231	521	40	16	349	289	88	3,630
(e)	349	289	338	293	223	422	725	— 306	419	22	7	327	296	45	1,860
(f)	327	296	321	297	220	371	706	— 337	369	13	3	314	299	24	990
	—	—	—	—	—	4,716	4,989	— 272	4,717	546	239	—	—	—	52,005

Col. (15) : From para. (138) the heat transferred from the gas to the coal is 39.4 T'd.

(140) To start line (b) of the table the figures in Cols. (12) and (13) line (a) are transferred to Cols. (1) and (2) line (b), and the calculation of line (b) then proceeds as for line (a).

It will be seen from line (f) of Table XIII that the gas temperature reaches 698 deg. instead of 700 deg. F., and the coal temperature 299.1 deg. instead of 300 deg. F. The total heat received by the coal per minute from Cols. (8) and (15) is $50,880 + 598 = 51,478$ B.T.U.'s, as compared with 51,744 B.T.U.'s required, para. (115). Hence the surface area of the coal in cascade, of 15 square feet per foot run, as assumed in para. (137), line (e), is satisfactory.

Heat Exchange Diagram, Counter Flow.

(141) The heat exchange diagram, which now takes a simple form, is shown by the graph fig. 42. The area ABCD represents the total heat supplied to the coal, the proportion transferred by radiation from the shell to the coal is too small to be shown separately on the diagram. The area DCFE represents the heat lost from the shell surface to the atmosphere. An ordinate drawn (for instance) at a distance of 34 feet from the end A, shows that at this point the rate of heat transfer to the coal is 1,740 B.T.U.'s per foot run of drier per minute, and the shell radiation loss is 135 B.T.U.'s per foot run per minute.

(142)

HEAT BALANCE.

(Quantities per Minute).

Compared with the Heat Balance given in para. (132) the B.T.U.'s in lines (a) and (b) remain as before.

	B.T.U.'s.	Per Cent.
(a) To raise temperature of coal	14,784	22.60
(b) To evaporate water	36,960	56.60
(c) Shell radiation loss, Table XIII ...	3,365	5.20
(d) Waste gas loss $425 (160 - 60) \times 0.24$	10,200	15.60
	65,309	100.00

It will be seen that 56.6 per cent. of the heat is expended in evaporating the water, as compared with 59.0 per cent. in para. (132). In other words, additional heat equivalent to 12 lbs. of standard coal per hour would be required from the furnace or from the kiln.

Result of Investigation.

(143) From Figs. 38 and 41 it is apparent that if the drier is not provided with a brickwork chamber, the shell temperature is considerably less, and thus there would be a smaller loss of volatile matter and much less danger of damage to the shell by heat.

It is shown in para. (130) that the arrangement of cascading angles indicated in Fig. 31 is more than sufficient to provide the surface area of coal in cascade of 15 sq. ft. per foot run which is found to be required. It would be quite practicable to double or treble the quantity of coal in cascade at any instant by adding to the size and number of the lifting angles or channels, and by increasing the speed of the drier. Hence assuming that the dust from the drier can be burned in the kiln, a shell of one third of the length would suffice, with the brickwork chamber omitted.

Drier without Brickwork Chamber. (Parallel Flow).

(144) In this type of drier the gas travels in the same direction as the coal. An advantage is that the finer particles of coal which are easily dried are accelerated in their progress longitudinally by the gas current, and the larger lumps have more time to dry. The hot gases are supplied to the feed-hood of the drier and enter the shell by the orifice through which the feed-chute passes. The spent gases and the coal are taken from the discharge-hood.

An example is worked out on the same lines as before. The shell is 5 ft. in diameter and the length over the cascading angles 42 ft., the output being 5 tons per hour (reckoned dry) from coal containing 15 per cent. of moisture. The brickwork chamber is omitted

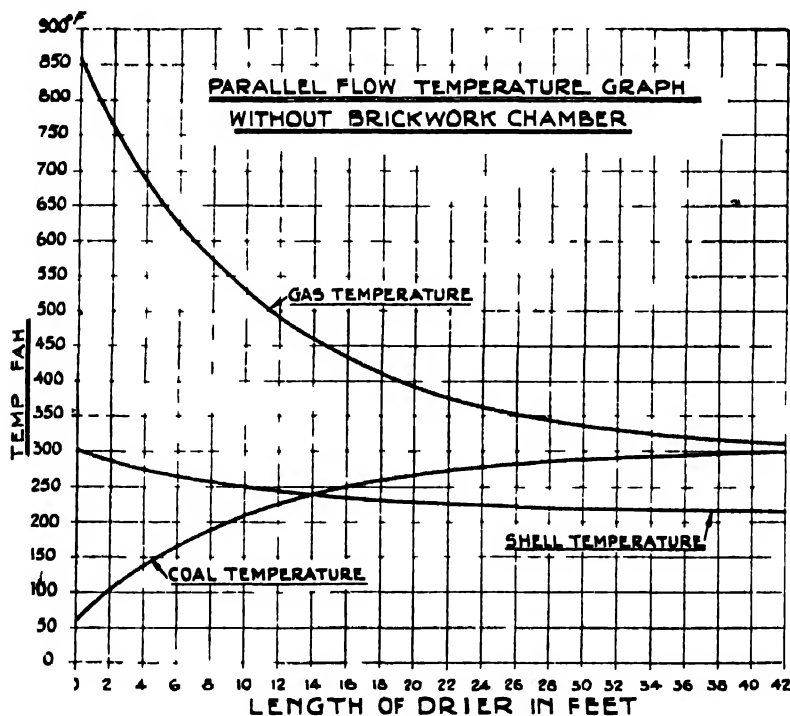


Fig. 43.

A diagram of the temperature distribution is given in Fig. 43. Since the coal leaves the drier at 300 deg. F., the exit gas temperature must be somewhat higher. A gas temperature range of 860 deg. to 320 deg. F. is provisionally assumed, giving a temperature drop of 540 deg. F. as before. The surface of the coal in cascade per foot run is made equal to that of the drier shell, i.e., 15.71 sq. ft.

(145) **Heat Required per Minute.**—The heat required to dry the coal is 51,744 B.T.U.'s, para. (115), and to this is added the shell radiation loss of 4,989 B.T.U.'s, as finally determined, making a total of 56,733. Hence the gas weight per minute is

$$\frac{56,733}{540 \times 0.24} = 438 \text{ lbs.}$$

and the value of W is $438 \times 60 = 1,339$.

H_c for the gas and shell is taken at 2.0 as before, and the value of H_c for the gas and the coal remains at 22.5. The area of the coal surface in cascade per 7-ft. length is $7 \times 15.71 = 110$ sq. ft., hence the heat transmitted from the gas to the coal is

$$\frac{22.5 \times 110}{60} Td = 41.25 Td$$

(in B.T.U.'s per minute, per seven foot length of shell, as before).

(146) The heat transmission is calculated in Table XIV. Line (a) relates to the coal feed end of the drier as before, and from Fig. 43 it will be seen that a gas temperature fall (gTf) has now to be dealt with. Proceeding on the lines of para. (128) it will be found that

$$gTf = 0.305 (gTi - cTi) + \frac{Q_s}{124} + \frac{Q_r}{135} \quad \dots (19)$$

$$\text{also } cTr = \frac{gTf}{2.06} - \frac{Q_s}{216} \quad \dots (20)$$

After marking provisional curves for the gas and coal temperature in Fig. 42 the calculation proceeds in a similar manner to that described in connection with Table XIII.

The area assumed for the surface of the coal in cascade is seen to be substantially correct, since the gas temperature falls to 314 deg. F., Col. (12), and the coal temperature rises to 299 deg. F., Col. (13). The heat transferred from the gas to the coal is 52,005 B.T.U.'s per minute, Col. (15), from this is deducted the heat radiated from the coal to the shell, Col. (8), giving the effective heat supply to the coal per minute as $52,005 - 272 = 51,733$ B.T.U.'s. This compares with 51,744 B.T.U.'s, the quantity required; refer para. (115).

It will be noticed from Fig. 43 that for the first fourteen feet the shell is radiating heat to the coal, but for the remainder of the length the coal is radiating heat to the shell.

(147) HEAT BALANCE FOR PARALLEL FLOW.
(Quantities per Minute).

	B.T.U.'s.	Per Cent.
(a) Raising temperature of coal	14,784	17.6
(b) Evaporating moisture	36,960	44.0
(c) Shell radiation loss, Table XIV	4,989	5.9
(d) Waste gas loss $438 (320 - 60) \times 0.24$	27,331	32.5
	<hr/> 84,064 <hr/>	<hr/> 100.0 <hr/>

The higher waste-gas loss in this instance reduces the evaporative efficiency of the drier, but if the exhaust passes to the kiln the loss in line (d) is mainly recovered.

Heat Exchange Diagram. Parallel Flow.

(148) The rate of heat exchange for parallel flow is given in Fig. 44. The heat supply from the gas to the coal per foot run of drier can be obtained for any position by drawing an ordinate from the base AB, to the curve CD. At 2 feet from the inlet end the rate is seen to be 4,030 B.T.U.'s per minute.

Ordinates drawn to the dotted curve EF show the effective rate of heat supply to the coal, when the radiation between the coal and the shell is allowed for. Ordinates drawn to the curve GH, from the base AB, give the heat loss from the outer surface of the shell.

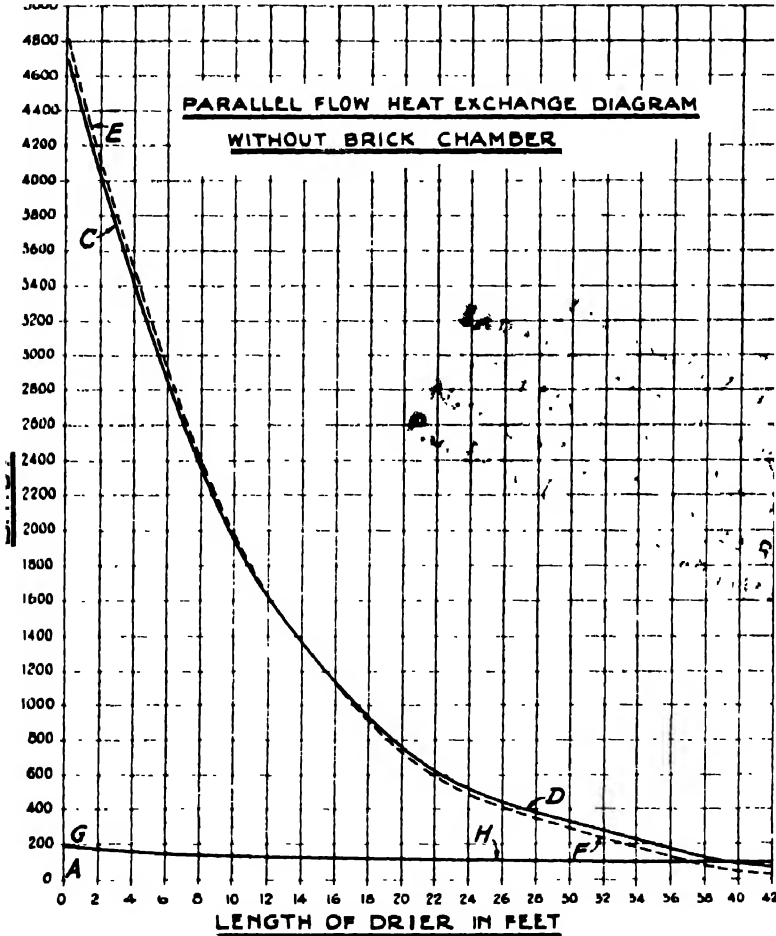


Fig. 44.

Result of Investigation.

Referring again to Fig. 44, since the waste gas loss is recovered by the kiln there is not much object in making the drier longer than 28 feet, and this length of 28 feet may be divided by two or by three if the surface area of the coal in cascade and the speed of the drier are suitably increased, refer para. (143). A length of ten feet over the cascading angles could therefore be made sufficient.

Summary.

(149) Various figures which relate to the three types of drier dealt with are given in Table XV.

TABLE XV.

Type of Drier.	Gas temperature range.	Coal temperature range.	Coal per minute (dry).	Gas per minute.	<i>W</i> inside Shell.	<i>Hc</i> gas to coal (grade VIII).	External radiation loss in B.T.U.'s per minute.	Coal surface in cascade, sq. feet per foot run.
	deg. F.	deg. F.	lbs.	lbs.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5) *	(6)	(7)	(8)
Brick Chamber—Counter Flow	700—160	60—300	186.7	409	1,249	22.5	1,275	16.51
Single Shell—Counter Flow	do.	do.	do.	425	1,300	do.	3,365	15.0
Single Shell—Parallel Flow	860—320	do.	do.	438	1,339	do.	4,989	15.71

The methods now developed for obtaining the rate of heat transfer in coal driers are applicable to driers for raw materials, and also to coolers for rotary clinker. Suitable values of *Hc* for several grades of clinker, at various values of *W*, have been determined as a result of extensive research. It will be seen later that the cooling of rotary clinker by cascading is effective.

French Cement Company Reports.

The following profits and dividends have been declared for 1930 (the figures in brackets are the corresponding profits and dividends for the previous year); Ciments de Paris, 263,673 fr. (499,000 fr.); Soc. Nouvelle des Chaux et Ciments H. de Villeneuve, 574,721 fr. (674,856 fr.); Super-Ciments du Boulonnais, 958,707 fr., 74 fr. gross dividend; Établissements Susset, 1,261,611 fr., 72.75 fr. (per "fondateur" share); S.A. des Ciments de Dannes, 250 fr. gross dividend plus 100 fr. bonus per share (250 fr. gross dividend); S.A. des Ciments Portland la Desvroise, 4,452,383 fr. (nett), 300 fr. (gross) (3,399,986 fr., 275 fr.); Soc. Générale des Chaux et Ciments, 887,363 fr., 6½ per cent. (823,039 fr., 6 per cent.); S.A. des Ciments et Chaux Hydrauliques d'Haubourdin, 1,441,775 fr., 45 per cent. (662,508 fr., 35 per cent.).

German Cement Sales.

The sales of the German Zement-Bund for the six months January to June, 1931, amounted to 1,989,000 tons, compared with 2,929,000 tons for the same period of 1930.

White Portland Cement.

It is reported that the German firm Portland Cementfabrik Dyckerhoff & Söhne has succeeded in manufacturing white Portland cement upon a large scale from German raw material.

Cement Plant Reconstruction in Switzerland.

Soc. des Chaux et Ciments de la Suisse Romande is making an issue of Fr. 3,000,000 (£118,950) for the modernisation of its Roche and Vouvry plants. This company is in the "Holderbank" group.

Future Developments in Cement Manufacture.

By RUDOLF ZOLLINGER.

In comparing the shaft kiln with the rotary kiln we know that for small outputs the shaft kiln is superior. As the output increases the margins of profit afforded by the two processes become equal, and finally, with greater outputs, the rotary kiln offers the greater profit.

Let us ignore the question of repayment of borrowed capital—which is more easily met in the case of a small works and thus favours the cheaper shaft kiln—and consider the questions of wages and power. The larger the works the more favourably is it placed in these respects. Power consumption does not increase in proportion to the mass to be moved (i.e., to the size of a machine), so that doubling the output of the cement mill does not mean doubling the power required, but a relatively much smaller increase. The position as regards wages is still more favourable, since a mill attendant can as easily control a mill of 20 tons per hour output as a 2-ton mill.

The wages and power requirements are the same for both types of factory so far as grinding, transport, etc., are concerned. It is otherwise, however, with the kiln. The rotary kiln can be considered as similar to a grinding mill in these respects, but the shaft kiln has an upper limit to its output. The air pressure employed must be greatly increased as the output is raised, which involves higher power consumption to such an extent that above a certain output the kiln cannot be run at a profit. If it be desired to increase the production above this limiting output a second kiln must be installed. The limiting production of the shaft kiln is about 120 tons. Thus to produce 360 tons of cement per day—which is within the scope of a single rotary kiln—will require three shaft kilns. The rotary kiln personnel will not have been increased, but the shaft kiln personnel will have been trebled, or at least doubled in even the most favourable cases.

Thus the system which possesses the greater heat economy has a limited output, and the kiln with the more unfavourable heat balance is more profitable because its output can be increased to a much higher value. For this reason large cement works adhere to the rotary kiln, since the greater fuel consumption is more than counterbalanced in other ways.

There is an additional factor which gives the rotary kiln of great output a further advantage, viz., the utilisation of the waste heat. This will only be economical, however, in the larger plants, and attempts to instal waste-heat boilers in small works will only confirm the opinions of those who see in the utilisation of waste heat, not an economy, but an increase in the cost of rotary kiln management.

Naturally the cement industry does not remain static, but attempts to attain ever greater perfection. If no further development is possible in one direction, another must be investigated. We have seen that the shaft kiln has already reached its maximum possible output. The development of the high-efficiency shaft kiln depended on shortening the time of burning, i.e., the material was made to pass through the kiln more rapidly. This was only possible by increasing the quantity of air, which meant higher air speed and higher air pressure. The development of this higher pressure is a question of fans, and pre-eminently of power. As has already been mentioned, the additional power requirement becomes so great that the process can no longer be profitably

worked. It is quite otherwise, however, in the case of the rotary kiln which can in no wise be said to have attained finality. While the shaft kiln has almost reached the theoretical fuel consumption, and approximates to the ideal heat balance, the rotary kiln is still far removed from this ideal. As will shortly be shown, this has driven the development of the rotary kiln along devious roads, and it is only in the most recent time that the heart of the problem has been attacked. Even although the heat efficiency of the rotary kiln is inferior to that of the almost theoretically perfect shaft kiln, it must be admitted that the rotary kiln has an important future once its heat balance is improved to approach that of the shaft kiln.

The weak point of the rotary kiln consists in the very inadequate utilisation of its cross-section for heat transfer; the heat of the hot gases is only very inefficiently utilised. This led to attempts to apply the heat of the hot gases in other ways, the most obvious being for drying the raw materials. This proposal can only be adopted in the dry process, and is already out of date as far as the rotary kiln is concerned. From America came the utilisation of the gases of combustion for the production of power in waste-heat boilers. Considerable development work had to be carried out before the waste-heat boiler reached its present satisfactory form, and even now it is by no means an ideal solution of the problem. In the first place it is complicated, delicate, and costly, and can only be economically installed in the biggest plants. Further it entails the uniting of two quite unrelated processes.

The only way in which to achieve an unobjectionable practical solution would be to utilise the waste gases in the actual production of cement, e.g., for drying, for preheating air, or in some other process directly related to burning. If we exclude preheating the raw meal in the dry rotary kiln process, there remains only the drying of coal and the drying of the slurry in the wet process. The most general modern method of drying coal is to utilise in the grinding plant the heat recovered from the clinker (e.g., Loesche and Rema mills). The possibility of drying slurry will be discussed later.

Proposals for applying waste heat to preheating air have also been put forward; for example, the installation of Siemens regenerators or blast-furnace recuperators such as are used in the iron industry. There appears to be no practical objection to the use of the Siemens regenerator, and it would probably justify itself. Various patents along similar lines have been applied for in which a portion of the hot waste gases is withdrawn from the hottest zone, mixed with cold air, and again fed to the kiln.

Another suggestion that has been made is to lengthen the kiln to an enormous extent, e.g., by making it 130 yards long. Obviously by this means the waste gases can be very efficiently used for the preliminary drying of the slurry in the kiln itself. On the other hand, the radiation losses will be considerably increased as a result of the greater surface; further, the kiln will become extremely unwieldy and will consume excessive power. The matter merits further discussion, however, as is shown by the Polysius-Lelep process, and it is not unlikely that improvement may result from following up these ideas. At present this process suffers from its intricacy and high cost of running, which counteract to a considerable extent the economy in fuel.

Another possibility is to change over from the principle of opposing currents to that of currents passing in the same direction, thus applying a valuable discovery made in connection with drying technique. Such a plant might consist of a rotary kiln divided into two portions lying one above the other. The slurry would enter and flow through the upper section, through which also would pass, in the same direction as the slurry, the hot gases from the

lower burning kiln. The hot waste gases would dry and partially calcine the accompanying slurry, which would then be fed to the lower kiln. In the same way the principle of unidirectional currents might be adopted in the burning kiln. The clinker would leave at the opposite end to the burning platform, while the hot gases would rise and be led to the upper kiln, where they would be used for drying and partly calcining the raw material. Since, as experience in drying technique shows, the principle of unidirectional currents results in considerably intensified heat transmission, its application may lead to a process employing relatively short kilns.

Finally we must consider whether the rotary kiln, once it has attained theoretical fuel consumption, is to be regarded as the ultimate development in cement burning, or whether the burning appliance of the future will surpass both rotary and shaft kilns. In this connection it is clear that both these kilns are far from ideal. Cement formation takes place in a relatively short time, and in present-day kilns the raw and burnt materials slowly circulate for a much longer time than is necessary. Every such unnecessary rotation of masses of material means waste of power. It will therefore be seen that, when the ideal burning conditions have been attained, further development must proceed in the direction of mechanical perfection by evolving a machine requiring the minimum of power. This path ultimately leads to the conception advanced by Naské, Meier and Andreas, of the production of cement actually in the flame itself. Proceeding still a step further, we have direct firing, i.e., the manufacture of cement as a by-product in the production of power by firing the boilers of a power plant with a mixture of low-grade fuel and cement raw material.

“Red Triangle” Group Acquired by The Associated Portland Cement Manufacturers, Ltd.

NEGOTIATIONS for the acquisition by The Associated Portland Cement Manufacturers, Ltd., of the cement and brick undertakings of the companies known as the “Red Triangle” group have now reached an advanced stage. Included in the assets proposed to be acquired are the works and businesses of the Allied Cement Manufacturers, Ltd., Holborough Cement Co., Ltd., Greaves, Bull & Lakin (Harbury Works), Ltd., Smeed, Dean & Co., Ltd., Dunstable Portland Cement Co., Ltd., and British Standard Cement Co., Ltd.

Purchase contracts between the Receiver of Allied Cement Manufacturers, Ltd., and between each of the other companies and the Associated Portland Cement Manufacturers, Ltd., have been prepared. The total purchase consideration is £2,025,000, plus a sum for certain manufacturing stocks, etc.

The combined home trade deliveries of the “Blue Circle” group and of the “Red Triangle” group for last year equalled approximately 70 per cent. of the estimated total of the home trade deliveries.

In order to finance the acquisition, the Associated Portland Cement Manufacturers, Ltd., have issued 500,000 unissued £1 ordinary shares of the company, and £150,000 of the company's 5 per cent. second debenture stock, and the 180,280 5½ per cent. £1 preference shares have been placed on terms which the directors consider satisfactory. Arrangements have also been made for the issue on the completion of the purchase contracts of a further £750,000 of the company's 5 per cent. second debenture stock.

A New Cement Works in Switzerland.

By F. F. TIPPMANN.

In 1928 the Swiss company, Portland Zementwerke Hausen, A.G.*, established a new Portland cement works at Hausen, near Brugg (Canton of Aargau) in the Swiss Jura, which district contains inexhaustible supplies of raw materials suited for the manufacture of high-strength Portland cement. This installation was carried out in its entirety by the well-known firm of Andreas Maschinenbau, G.m.b.H.,† of Münster in Westphalia. The works have been planned for an initial daily output of 500 tons but provision has been made for the future doubling of this output. Fig. 2 shows the plant in plan and section. A combination of shaft and rotary kilns was adopted with the object of dealing economically with periodic variations in demand.



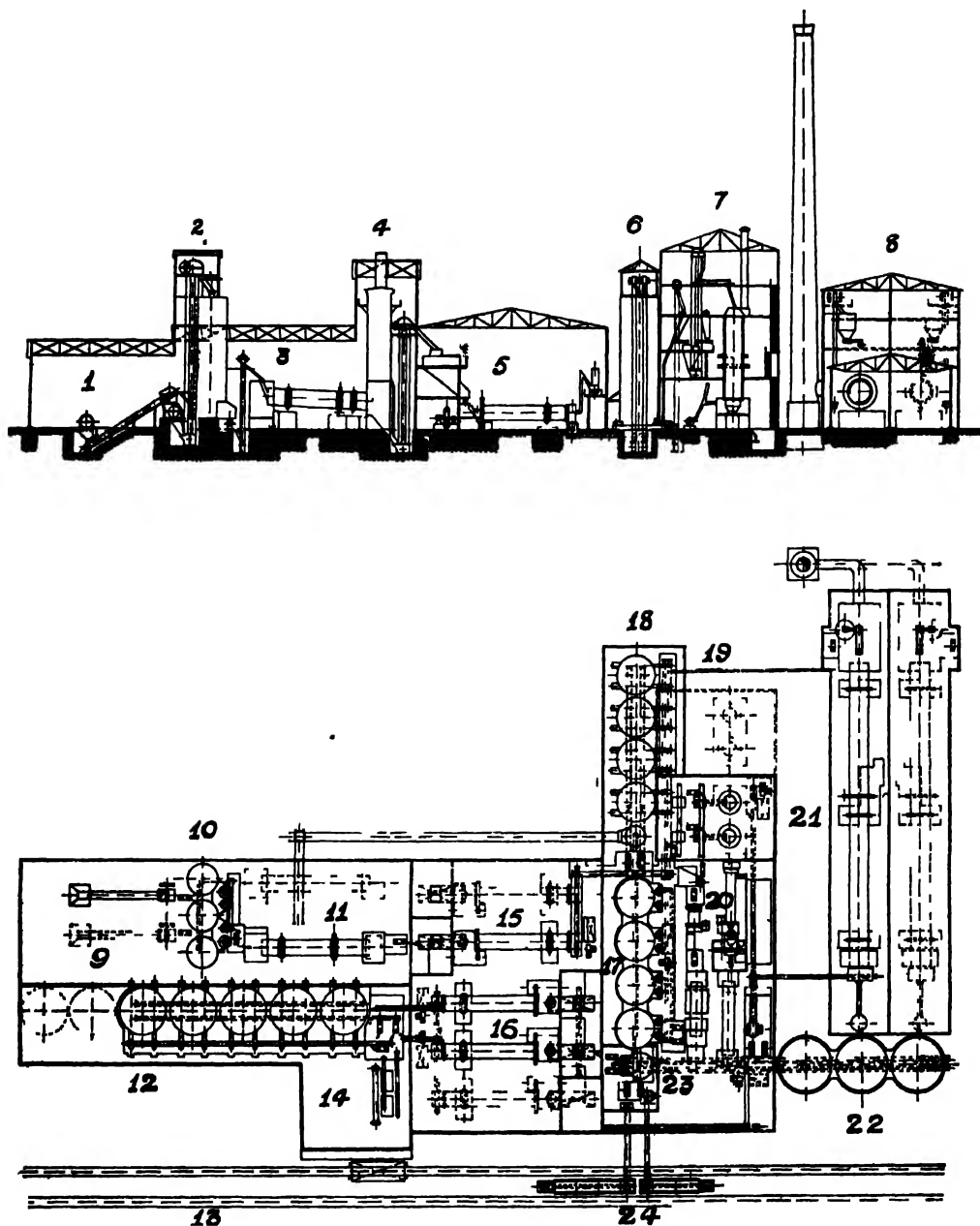
Fig. 1.

Since the Andreas shaft kiln (which avoids briquetting of the raw materials) became an economic rival to the rotary kiln, a number of new, and even certain old rotary plants, have decided to install this combined process. The kilns installed in the new works are the Andreas high-efficiency shaft kiln and rotary kiln. Construction was commenced on October 4th, 1928, and in spite of a hard winter the works was in full production at the beginning of August, 1929. Figs. 1 and 3 show the completed works from the railway and from the rear, respectively.

The raw materials are a hard high-lime Jura limestone and a medium hard Jura marl of varying lime content; the latter is worked in layers and conveyed to the works by a double-track rope-railway passing through a tunnel. The trucks of raw material are emptied by inverting them in an automatic rotary tipping machine and their contents conveyed by a conveyor to an Andreas hammer crusher. This machine is capable of crushing blocks up to 5 ft. in

* Now controlled by the Swiss Cement Syndicate.

† This firm has now amalgamated, as regards its cement-making machinery, with Krupp-Grusonwerk, A.G., Magdeburg-Buckau.



(1) Preliminary crushing (2) Raw material silos, (3) Drier, (4) Electrical dust extractor, (5) Raw mill and cement mills (6) Raw meal mixing silos, (7) Shaft kiln, (8) Rotary kiln, (9) Preliminary crushing, (10) Raw material silos, (11) Drier, (12) Cement silos, (13) Railroad sidings, (14) Packing, (15) Raw mills, (16) Cement mills, (17) Coal silos, (18) Raw meal mixing silos, (19) Shaft kiln, (20) Coal grinding mills, (21) Rotary kiln (22) Clinker silos, (23) Gypsum silo, (24) Coal and gypsum bunkers.

Fig. 2.

diameter, delivering pieces the size of a hazel nut, and has an output of 100 tons per hour. It can thus deal with the daily requirement of 800 tons of raw material in an 8-hour shift. Fig. 4 shows the preliminary crushing plant.

The crushed raw materials are stored in three silos of a total capacity of 900 cu. yds. These silos are discharged by an Andreas plate discharge (Fig. 5). At this stage the laboratory staff roughly adjusts the raw material mix. The construction of the silo-discharge allows the silos to be arranged side by side, so that the plate apparatus, combined with the constant head of material, ensures uniform discharge, which is of decisive importance in maintaining the composition of the lime-marl mix sufficiently constant. This type of silo discharge is provided throughout the works (e.g., for raw mill and cement mill feed silos, coal and gypsum silos, etc.), wherever coarse or granular materials are concerned.

The lime-marl mix obtained from the raw silos is led to a rotary drier employing the Andreas cellular construction. This drier possesses excellent heat

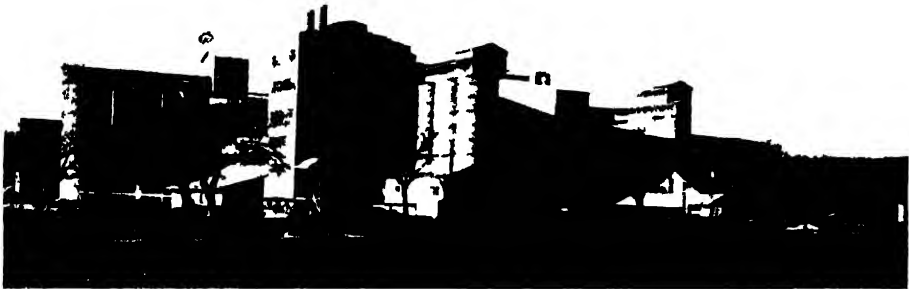


Fig. 3.

efficiency. It is fitted with the Lurgi electrical shaft dust-extracting plant. Fig. 6 shows the drier with the dust extraction plant.

The dried mix then passes to the raw mill feed bunker. The raw mill is an Andreas high-output three-compartment compound mill of 7.2 ft. diameter and 46 ft. long. The hourly output is 60 tons of raw meal of 12 to 14 per cent. residue on the 180-mesh per inch sieve; i.e., 165 lb. per (metric) horse-power hour—which may be accepted as the highest efficiency obtained in modern grinding practice. Thus the daily consumption of raw meal (800 tons) can be supplied by a single mill unit working during the night only, enabling advantage to be taken of the cheaper night rate for power. Indeed, with the exception of the kilns themselves the arrangements are such that the entire plant only operates for 8 or 12 hours daily while cheap night power is available. The raw mill and cement mills are driven by low-speed electro-motors provided with idle current compensation. These combine simplicity and reliability with the economy in power and efficiency of high-speed motors working through reduction gear. The raw meal is conveyed to the mixing silos, which consist of four units with a total capacity of 2850 cu. yds. The homogenising of the



Fig. 4.

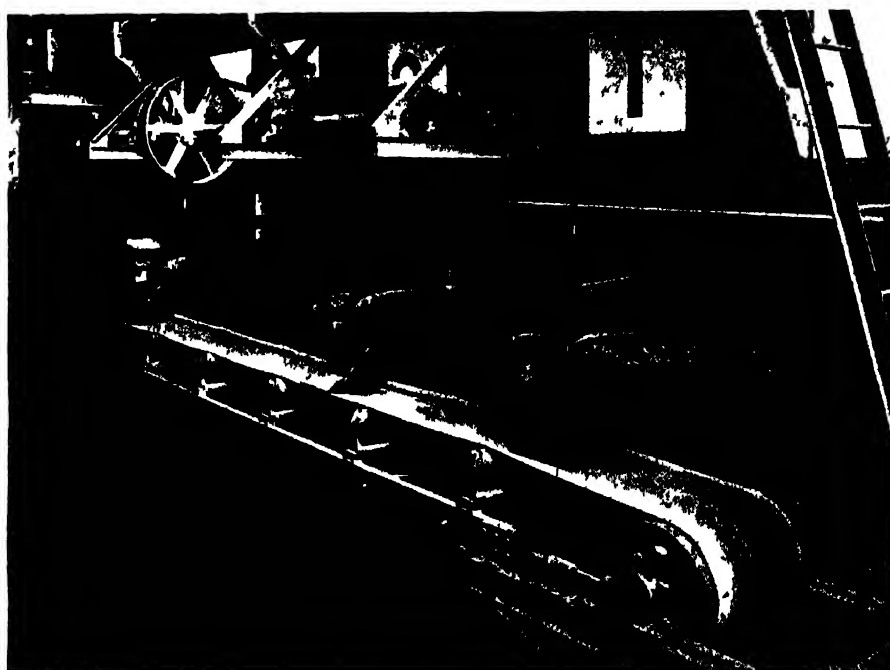


Fig. 5.

raw meal is carried out by the whirling process, and is so thorough that variations in the CaCO_3 content amount to barely 0.3 per cent.

The raw meal and cement silos are emptied by means of Andreas double chain discharge, which enables the silos to be more simply and cheaply constructed (Fig. 7).

The homogenised raw meal is next conveyed to the kilns, of which the shaft kiln first will be briefly described. The original plant comprised two shaft kilns of 8.25 ft. diameter and 33 ft. high. The raw meal and fuel (anthracite slack) are weighed simultaneously in an automatic coupled weighing machine. The mixture is then moistened in a special mixing screw, thoroughly mixed, and introduced directly into the kiln by a special feed without briquetting or moulding. The kiln is characterised by the fact that there is no adhesion of the material to the kiln lining. Further, burning is rapid in the relatively narrow clinkering zone, while the introduction of secondary air ensures an

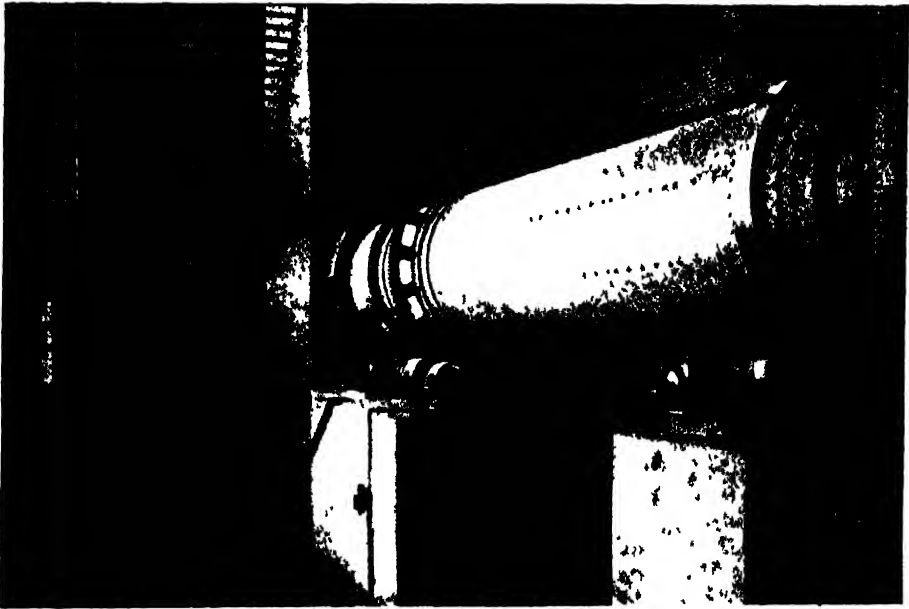


Fig. 6.

equally rapid and intensive cooling of the clinker. The kiln is discharged by a mechanical grate, employing the air and dust-tight Andreas discharging lock. Fig. 8 shows the burning platform of the shaft kiln plant.

The daily output per kiln is 140 tons of clinker of normal rotary kiln quality, with a fuel consumption of 16 to 17 per cent. anthracite slack, i.e., about 205,000 B.Th.U. per 100 lb. of clinker. The cement obtained from this shaft kiln clinker (having 10-12 per cent. residue on the 180-sieve) was tested for compliance with the Swiss specification at the Zurich Federal Materials Testing Station, with the following results:

			Tensile strength				Crushing strength
			lb. per sq. in.				lb. per sq. in.
3 days	...	...	340	..	...	..	5,000
7 days	...	..	455 to 500	..	...	...	6,400
28 days	...	...	640 to 710	...	...	*	9,250 to 10,650

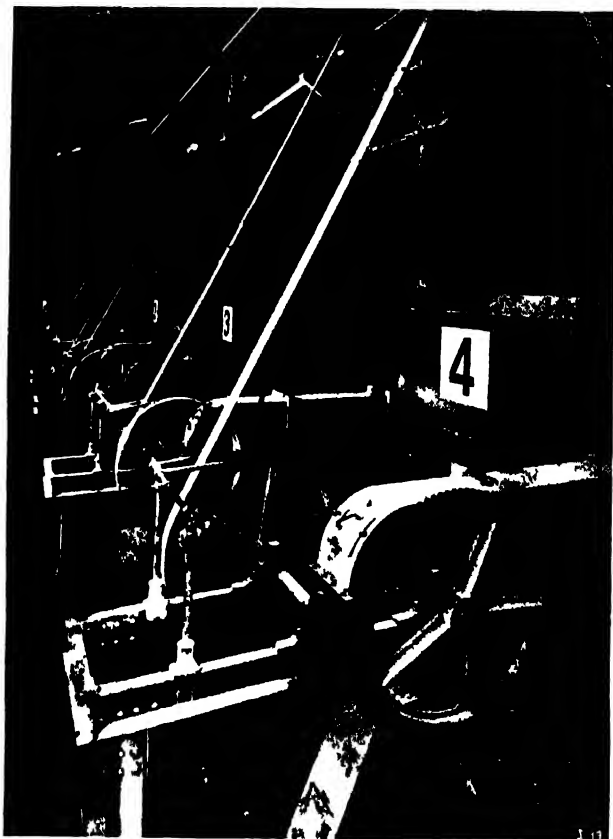


Fig. 7.



Fig. 8.

These values satisfy the extremely high requirements of the Swiss specification.

A portion of the homogenised raw meal is conveyed to the Andreas rotary which works the dry process. The kiln already installed is of 9.2 ft. diameter and 148 ft. long (Fig. 9), driven by an electric motor.

The kiln is simple in design, consisting of a tube uniform in section throughout, i.e., without any enlargement. The kiln exit gases are used to preheat and calcine the raw materials so that the gases leave the kiln at a temperature of 160 to 170 deg. C. The Andreas rapid cooler is installed. This requires very little space, and recovers the heat of the clinker in the form of dust-free preheated air which is fed to the kiln. The daily output of the kiln is 220 to 240 tons, with a fuel consumption of 16 to 17 per cent, equivalent to 191,000-199,000 B.Th.U. per 100 lb. of clinker. Three large sheet-iron silos of over 3,000 cu. yds. capacity are installed for storing the clinker.

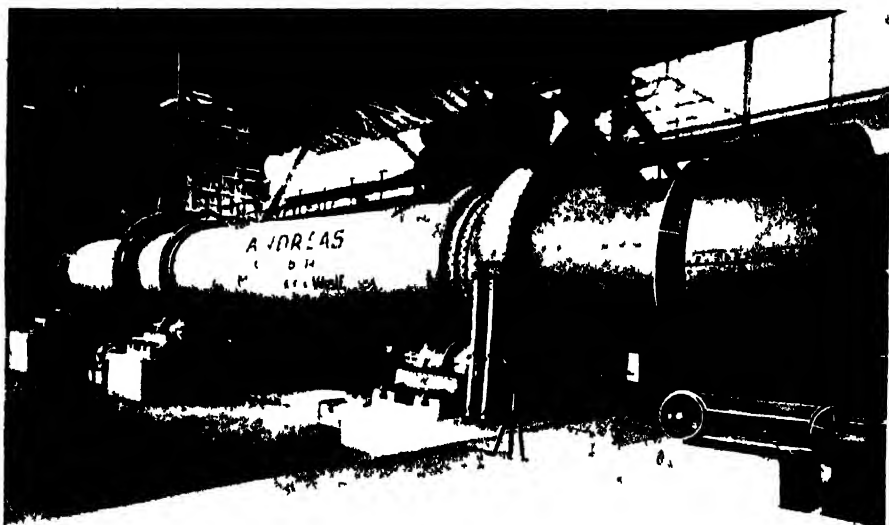


Fig. 9.

The cement mills are two Andreas three-compartment compound mills of the same dimensions as the raw mill, each of which grinds 30 to 32 tons per hour, or about 88 lb. per (metric) horse-power hour. Each mill is provided with a special dust-extracting plant. The ground cement is stored in a 5-unit silo system of 3,250 cu. yds. capacity. These are emptied by means of the chain discharge. The packing plant consists of two Andreas valve-bag packing machines having four filling nozzles each and a total hourly output of 1,600 to 1,800 sacks. The daily output of the works can thus be comfortably handled in 8 hours. These bag-packing machines were described in the April, 1930, number of this Journal.

The in-coming coal and gypsum are emptied into bunkers situated between the sidings, and (after preliminary crushing of the gypsum) are conveyed to the four coal silos (about 2,000 cu. yds. capacity), or the gypsum silo (200 cu. yds. capacity), which are all fitted with the plate discharge. For the shaft kiln, the coal is used as delivered; for the rotary kiln it is dried in a rotary drier and ground in a special Andreas compound mill for coal grinding.

With a view to ultimately doubling the output, the complete foundations for a second hammer-crusher, drier, raw mill, two shaft kilns, one rotary kiln, one cement mill, etc., were laid down as part of the initial scheme. The works obtains alternating current at 20,000 volts from a cross-country supply, which is transformed down to 500 volts at the works. The plant can be operated with only 18 workmen per shift. The electrical equipment of the works was supplied by the Swiss firms Brown and Boveri, Baden, Örlikon, and the Brugg cable works.

Book Review.

"Technical Methods of Chemical Analysis." By G. LUNGE and C. A. KEANE.

Second edition, Vol. III. London: Gurney & Jackson. Price £3 3s.

The third volume of this standard work on chemical analysis deals with cements, clays and their derivatives, water, glass, air, fertilisers, etc. It is therefore the most useful volume in the series for cement-works chemists. The chapters on cements and limes are on the whole well done, the source of information for the latter being very largely the publications of the Building Research Board. Reliable methods of chemical analysis of cement and its raw materials are given, as well as descriptions of the physical tests usually applied to cement. In a reference book of this sort accuracy is of prime importance, and it is unfortunate that the authors in defining the limits of the British Standard Specification have confused the obsolete 1920 edition with the current 1925 edition. For example, the lime-ratio upper limit should be 2.90 and not 2.85, while the permissible magnesia content of a Portland cement is now 4 per cent. and not 3 per cent.; again, the minimum initial setting time is not 20 minutes as stated, but 30 minutes. Experienced cement workers will not accept the statement that "aluminous material is more easily ground . . . and readily yields a fine product," nor that "an increase in the alumina hastens the setting and the difference between slow setting and quick setting cements, other factors being equal, is mainly dependent on this characteristic."

It is a mistake to state that the boiling test is applied to detect contraction as well as expansion, and to suggest that rapid hardening cement is made by slightly increasing the proportion of alumina and by extremely fine grinding of the resultant clinker is only telling a small portion of the story.

Some pages are devoted to the obsolete specific gravity test, and in spite of the work of D. B. Butler and others it is implied that a low specific gravity of cement may be due to pronounced under-burning as well as ageing.

These are defects which show that the book does not excel in dealing with the characteristics of cement, but this indeed is not its function, and the reader is on safer ground in accepting the methods of analysis which fill the greater number of pages. Cement works chemists will find useful the sections on the analysis and testing of boiler feed waters and refractories.

Rotary Screens.—We have received from Messrs. Edgar Allen & Co., Ltd., a brochure on revolving screens. This publication describes the Edgar Allen chain-hung rotary screen, especially suitable for quarries and the production of road-making material, and other types of revolving screens, including telescopic type.

Dust Collection.—The Visco Engineering Co., Ltd., has recently published a brochure on dust collection. The dust-collecting machinery made by this firm is described and illustrated, especially the "Visco-Beth" automatic dust collectors, which have been installed in many cement works in this country.

Setting and Hardening of Portland Cement.

By A. C. DAVIS, A.M.Inst.Mech.E., M.Inst.C.E.I., F.C.S.

(WORKS MANAGING DIRECTOR, ASSOCIATED PORTLAND CEMENT MANUFACTURERS, LTD.)

THE setting of cement is still imperfectly understood; its complex constituents have not yet been completely isolated, or their individual behaviour fully ascertained. Until this detailed knowledge has been gained discussion is largely a matter of hypothesis. A great deal has been written on the subject during recent years, and it is held that the process of setting arises either from crystallisation or colloidal action, or both.

It appears to be accepted by the two main schools of thought that the adhesive and cohesive qualities of set cement arise largely from the presence of low-limed compounds, although it is not always agreed that the hydrolysis goes so far as to result in hydrous silica, because hydrate of lime would be produced concurrently with the silica, and as fairly rapid combination takes place, the two substances cannot long exist together. Thomas Edison once explained to the author that he was a keen believer in the colloid theory of setting, while Le Chatelier, the eminent French chemist, always opposed the theory which attributes hardening to certain colloidal properties of cement. Other experts also hold definite and opposite views. In his work on the microscopic analysis of the constitution of Portland cement, published so long ago as 1887, Le Chatelier stated he found the main constituents of Portland cement to consist of colourless double-refracting cubical crystals and between these a darker substance double refracting, but without crystalline, structure. In addition he found (a) slightly yellowish crystals, opaque and showing striation; (b) very small crystals with rather strong double-refraction; and (c) zones of matter without influence on polarized light.

Le Chatelier also pointed out that in an endeavour to define the word "colloid," Graham (the originator of the discovery of the bodies so called) had recognised the existence of two different solutions, and that while the crystalloids are diffused when dissolving the colloids are not; the one kind gave on evaporation crystallised bodies called crystalloids (sea-salt, sugar, etc.), while the other gave amorphous bodies (gelatinous silica, gum, etc.).

Zsigmondy has shown with the aid of the ultramicroscope that the colloidal solutions were not true solutions, but merely suspensions of very finely divided insoluble matter. These suspensions are opaque, milky, or transparent, according to the fineness and abundance of the particles suspended in the liquid. When their diameter is inferior to the wave-length of light they allow the light to wend its way through, somewhat as does sound with screens of a limited size. The diameter of the true colloids approaches a millionth of a millimetre, and is always much less than a thousandth of a millimetre.

Such colloidal suspensions are given by all very minute insoluble bodies; for instance, metals such as platinum and silver when pulverised by the electric arc; finely-crushed quartz, alumina, kaolin, and other minerals; completely insoluble chemical precipitates as the sulphides (notably nickel sulphide); or, finally, the iron tannate used in the manufacture of ink.

One special and important property of these very minute bodies entitles them to be classed separately, namely, the property of adsorbing the soluble bodies held in solution by the liquid with which they are wetted. This adsorption, which is a source of error in analyses, is frequent with chemical precipitates, but does not strictly characterise finely-divided bodies as it manifests itself also in porous

Presented by

D

bodies. From this point of view, colloids and porous bodies must be classed together. This adsorptive power is a particular case of much more general properties which all very fine bodies possess. Chemically a body in the form of an impalpable powder behaves quite differently from the same body in the form of big lumps. There is a special chemistry of colloids and porous bodies. These particular properties are under the immediate sway of surface tension.

The fact has long been acknowledged that all chemical phenomena depend directly upon diverse forms of energy—heat, electricity, work; the chemical reactions of combustibles liberate heat; the reactions of batteries generate electricity; the reactions of explosives, work.

Surface energy which is measured by the product of the surface tension (or capillary tension) and of the free surface of a body, is generally infinitely small in magnitude when compared with other forms of energy. The gram-molecule of water (18 grams) may be assumed to have the form of a sphere of 3.3 cm. diameter. In contact with its water vapour the sphere will have a surface tension of 0.08 grams per linear centimetre. The surface of the sphere being 34 sq. cm., its surface energy will be $0.08 \times 34 = 2.72$ gram-cm., or 2.72×10^{-3} kg. m., which corresponds to 6.3×10^{-8} kg. calorie. Now the vaporisation of a gram-molecule of water absorbs 10 calories, and its combination with lime liberates 10 calories. Its surface energy is therefore only equivalent to the one hundredth millionth part of that quantity of heat, that is to say, negligible. If, instead of a single sphere, the water was divided into a vast number of little globules, each of one-millionth of 1 mm., their surfaces and consequently their total superficial energy would become 330 million times greater, and thus equivalent to 2 calories; that is to say, the surface energy would be of the order of magnitude of the quantity of heat which water evolves in its various chemical reactions. The surface energy in that case would no longer be a negligible factor.

As regards solids in suspension in a liquid, there is no direct method for measuring the surface tension at the contact between the solid and liquid. Indirect considerations suggest that this tension may become a hundred times greater than that of water. The superficial energy will be increased in the same ratio, and its influence will become appreciable for dimensions of the order of a ten-thousandth part of a millimetre—dimensions much superior to those of chemical precipitates.

These considerations so far concern solely the grain size without reference to the greater or smaller solubility of the bodies in question. They do not yet furnish an immediate explanation of the usual insolubility of the colloids. A solid crystal ground to very fine grains will certainly have all the properties of colloids as long as it retains its fineness, but it will rapidly lose the latter as soon as it is brought in contact with a liquid capable of partially dissolving the substance. The energy of dissolution will be increased by the whole superficial energy of the crystal; an increase in the solubility of the fine crystals will result, and a supersaturated solution will be produced from which larger crystals will soon be separated. This fact has been very clearly verified for the very fine precipitation of calcium sulphate and barium sulphate. In order to make these precipitates coarser, and thus prevent them from passing through the filters, such precipitates are kept hot for several hours before filtration.

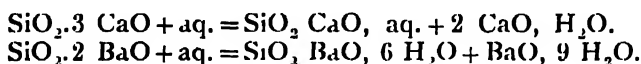
Every soluble body, even if existing in very fine division, progressively loses its colloidal properties when it is maintained in contact with a liquid in which it is somewhat soluble; its transformation will be the more rapid the greater the solubility. Only insoluble bodies can therefore preserve the extreme state of sub-division which corresponds to the colloidal state. For the same reason, bodies which are properly called colloids never show a discernible crystalline

form, because the crystalline orientation supposes a certain mobility of the material within the solvent, be it liquid or gaseous.

In considering whether the products of the hardening of hydraulic mortars are colloidal or not, it is interesting to take the case of plaster. When plaster has set, crystals are not discernible in the material even under the strongest magnification of the microscope. That does not prove that no crystals are formed; perhaps they are too small to be recognised. In petrographic specimen plates less than 0.02 mm. in thickness one can hardly distinguish crystals less than 0.005 mm. in diameter. Crushing the soft mass under the cover-glass does not reduce it below 0.0005 mm.—far from colloidal dimensions. When humid hydrated plaster is left to itself crystals begin to become discernible at the end of several weeks; after several years they are sometimes visible to the naked eye. Crystals in hardening plaster are moreover visible from the beginning if the plaster is gauged with alcoholic water instead of pure water; the setting is then retarded and the crystals can better develop.

The calcium aluminates, which play an important part in the rapid hardening of cements, are hydrated at the same rate as the plaster, and they also give a whitish mass in which crystals are not discernible. If, instead of gauging the aluminate with little water, a few isolated grains of the aluminate are put into a large volume of water, the grains soon become surrounded by long crystals of hydrated aluminate, which are always easily visible under the microscope and can sometimes be seen by the unaided eye.

Calcium silicate alone causes a difficulty in these considerations; this is important, because the silicate is the essential element in the ultimate hardening of Portland cement. The microscope does not reveal hydrated calcium silicate; its crystals are certainly very minute, but numerous analogies prevent denial of their existence. The hydration is exactly the same as in the case of barium silicate:



The crystals of hydrated lime are plainly visible, like those of hydrated baryta; they may attain dimensions of several millimetres. Crystals of barium silicate can always be seen with the aid of a lens, and sometimes with the naked eye. By analogy it may be said that hydrated calcium silicate will crystallise as well; but as it is much less soluble than the barium compounds the crystals will be too minute to be discernible.

It is not impossible that, initially, the dimensions of these crystals are of colloidal order, as in the moment of formation of the precipitates of barium sulphate and calcium oxalate. It has been shown, in fact, that this calcium silicate precipitate absorbs, in the moment of its formation, a certain quantity of lime which varies with the concentration of the liquid. In the course of time the dimensions of the crystals must increase considerably, as in all similar instances. The mechanical resistance, on the other hand, does not diminish with time. Consequently the colloidal state which was possible at the beginning has nothing, it is maintained, to do with the hardening of the cement.

The theory of the hardening of cements which Le Chatelier propounded many years ago does not yet appear to have been refuted. This was as follows: The anhydrous compounds of cements, not being in chemical equilibrium when in contact with water, are more soluble than the same hydrated compounds. For this reason they give rise to the formation of a supersaturated solution from which the hydrated compound may rapidly crystallise. The liquid, being no longer saturated, can re-dissolve more of the anhydrous compounds, and the whole mass can thus crystallise progressively by passing through a stage of transitory dissolution in a limited volume of water which, at any given moment

cannot maintain in solution more than a small portion of the total mass of salts present.

The crystals which are deposited from the supersaturated solutions always appear in the shape of extremely elongated needles, which have the tendency to group themselves in spherulites about certain centres of crystallisation. The entanglement of all these crystals is the only cause of the solidity of the mass. They become welded with one another when the reciprocal orientation is suitable; they adhere by simple contact, as do all solid bodies when really resting upon one another.

Finally, friction at the points of contact, even in the absence of all adhesion, suffices to produce a great strength of mechanical resistance such as is found in all tissues and fabrics whose solidity has no other origin. The finer and more elongated the crystals, the more numerous the points of contact and the greater the frictional resistance. The greater the area of contact, the more developed the adhesion. The progressive growth of the crystal dimensions by the mechanism suggested increases the part played by adhesion while diminishing that due to friction.

Turning now from these theoretical considerations of the mechanism of setting it is proposed to discuss some of the practical considerations of more immediate importance to the manufacturer. Set cement contains hydrated lime and if, as has been held, this hydrated lime is inert we have the anomalous position that to secure strength in their products cement manufacturers are compelled to include the highest possible proportion of lime that is compatible with constancy of volume, while in the resultant concrete a proportion of the lime is not required.

In order to attain the maximum lime content consistent with the production of sound and stable cement manufacturers grind their raw materials finely at considerable cost and, the clinkering temperature of high-limed mixtures being high, the cost of calcination is also heavy; there is thus the apparent anomaly that the manufacturer of cement finds his product burdened with an excess of a constituent costly to manipulate and which is ultimately found to be a diluent. The production of low-limed cements has consequently occupied the attention of many workers, but since the basis of their experiments has usually been blast furnace slag, with its content of sulphur as sulphide, such low-limed cements have been condemned on account of their sulphur content with its serious possibilities. The ordinary sources of raw material, such as chalk, limestone, clay and shale, can of course be used for low-limed cement production, but the results up to the present have not been satisfactory.

It is maintained by those who have devoted much time and labour to the subject that the major constituents of Portland cement are tricalcic silicate, dicalcic silicate and tricalcic aluminate. Of these constituents the compound tricalcic silicate is the one which hardens and develops the greatest strength within a reasonable time; it is the one formed with the greatest difficulty, and constitutes only about 30 to 35 per cent. of an average normal Portland cement. It may be, therefore, that the essential process for the manufacture of Portland cement is the formation of this compound, and that any improvement in the process yielding an increased percentage of tricalcic silicate will increase the ultimate cementing value of Portland cement.

While these considerations obtain in regard to Portland cements, experience with the more recently introduced aluminous cements goes to show that tricalcic silicate is not essential to the production of a material which will produce similar results. As is well known, aluminous cements consist mainly of approximately equal quantities of lime and alumina with smaller amounts of silica and other constituents found in Portland cements. The initial and final setting occurs in

a space of time and in a manner similar to Portland cements, but subsequent hardening takes place more rapidly with great generation of heat. This heat creates possible difficulties, and it remains for time to prove the comparative durability of aluminous cement concrete under various conditions of service.

From the early days of the industry it has been customary to control the setting time of Portland cement as manufactured by the addition of calcium sulphate, usually in the form of raw gypsum stone, during the grinding of the clinker. With well burned clinker from rotary kilns an addition of up to about 4 per cent. of the raw stone may be necessary in order to produce a really slow setting cement. This, however, depends partly upon the raw materials and degree of burning and on the purity of the gypsum used. It has to be borne in mind that the addition of gypsum increases the content of sulphuric anhydride (SO_3) found on analysis of the cement, and that all specifications place a limit on the amount of this constituent that may be present. In the British Standard Specification for Portland cement this limit is 2.75 per cent. The action of the gypsum is at present only imperfectly understood and a fuller knowledge of the mechanism of setting of cement is necessary for its proper appreciation. It is probable that with most Portland cements the useful content of SO_3 falls within very narrow limits. As illustrating this point and the abstruseness of the phenomenon of setting, it is sometimes found that an addition of gypsum sufficient to give an SO_3 content in the cement of say 1.2 per cent. may have no apparent effect on setting, which remains instantaneous, whereas a slight increase raising this SO_3 to 1.3 per cent. will produce slow setting which is not further retarded to any appreciable extent by additional quantities of gypsum.

In the latter half of the nineteenth century it was common practice with users to lay cement out for "aeration" before use. This practice was primarily designed to improve the stability and constancy of volume by slaking any free lime present owing to incomplete combination in the kilns then used. The operation however also had an important effect upon the setting of the cement by the absorption of atmospheric moisture, and this effect has been made use of by the manufacturer, who has recourse to steam hydrating in the mills during the clinker grinding operation, "weathering" of the clinker before grinding, and watering of the hot clinker when leaving the kilns. These methods of slowing the set have been necessary where the addition of gypsum was found to be partially ineffective, but they cannot always be depended upon to give satisfactory results. Gypsum is often more effective in its burnt state as plaster of Paris than in the raw state.

Quick setting is a pronounced feature of untreated rotary kiln cement, and it has to be regulated by these means to the setting times required in the marketable product. Generally speaking, a marketed cement, after being mixed neat with water, should remain inert for at least half an hour but after that time the quicker it sets the better.

The addition of gypsum is recognised by practically all standard specifications because a cement which varied in its setting time from a few minutes to some hours would prove exceedingly troublesome to the consumer, whereas by the introduction of the gypsum while the cement is passing through the grinding machinery, a product is obtained which can be relied upon for a slow and generally uniform set. This addition of gypsum in no way interferes with the strength or quality of the cement.

The watering or hydrating of well-burnt clinker to regulate the setting of cement is of advantage as the set generally becomes slow under this process and the finished cement can be regulated to any approximate time of set by a combination of hydrating and gypsum. It is, however, quite easy to think of the setting of cement too precisely in terms of hours or minutes, and while some

measure of time is necessary for classification purposes, an exaggerated value may be attached to differences of a few minutes in results as recorded with neat cement paste by the customary methods of test. A broader classification in terms of the grade of cement, i.e., quick or slow, is generally sufficient. Occasionally cements which are slow-setting when freshly ground have been known to undergo conversion to quick-setting on storage, and then either to retain that character or revert to slow setting again; this is probably due to an effect associated with the addition of gypsum. This latter is soluble, and retards the setting of the cement, but when the sulphate of lime enters into combination with the calcium aluminate its restraining action is removed and the cement becomes quick-setting for a time.

Of recent times a phenomenon described as a "false initial set" in cement has been occasionally observed. The pat of neat cement paste, gauged in the customary manner for test, is seen to lose its surface moisture and assume the stiff and dull appearance associated with initial setting very soon after gauging. It may even harden to an extent sufficient to prevent the needle entirely penetrating the pat. The cement then remains in this condition for an appreciable time and the interval is a long one before the final set (which is of a normal character) is recorded. If the pat is immediately re-gauged on the appearance of the "false initial set" it is found that it does not recur and the pat takes its initial and final set in a normal way. The phenomenon is thought to be explained by the action of the gypsum used for slowing the set which has been converted into plaster by the high frictional temperature created in the grinding mill.

It is generally understood that a quick-setting cement, or a cement which has reverted to quick set, is rendered of a slower setting nature by storage, on account of the hydration of the calcium aluminate contained in it. A quick-setting material is sometimes assumed to be one which has not been stored, and is termed "hot" or "fresh." These terms are undoubtedly very misleading to the average cement user; freshly ground cement is hot but it is not necessarily quick-setting, nor is quick-setting cement necessarily freshly ground. All cement is hot to the touch when it is freshly ground owing to the frictional heat generated during the grinding operation, but if it has been properly made and the set regulated it will not set quickly.

Urgent demands for large supplies of Portland cement sometimes make it necessary for manufacturers to deliver consignments direct from the mills to the construction job. The cement on its arrival at the site is then appreciably hot to the touch, and some doubts have arisen whether it is advisable to use cement in this condition. In consequence of a number of inquiries on the point, the Building Research Station of the Department of Scientific and Industrial Research conducted some tests in order to obtain specific information, and their report shows that such cement can be quite safely used at once.

As already stated, the heat in question is derived, not from the kiln, but from the friction produced by grinding. Samples were collected at a cement works immediately the cement had left the grinding mills, at the temperature of 140 deg. C. Tests were made in the first instance in the works laboratory with cement half an hour old, which was still at a temperature of 122 deg. C., and by means of specially made containers and vacuum flasks further quantities of the same cement were collected at the mills and transported to the Building Research Station without serious loss of heat, after which the tests made at the works were repeated at various intervals as the cement cooled. In one set of tests the neat cement was gauged with just sufficient water to give a certain definite consistency, and more water was required to produce this consistency when the cement was hot. As might be expected the hot cement was found to

set somewhat more quickly than the cool, by reason of the accelerating effect of the warmth, but between cement at 122 deg. and 15 deg. C. it amounted only to half an hour in the final setting time. This difference is considered of little importance.

After the laboratory tests a section of concrete road was laid at a point where it was liable to receive very rough usage. The section was approximately 70 sq. ft. in area, and the thickness of the slab $7\frac{1}{2}$ in. The bottom layer of 5 in. was composed of a mix of $1\frac{1}{2}$ parts Portland cement to $2\frac{1}{2}$ parts gravel to 2 parts brick rubble, and the concrete was made of a stiff consistency. The top surface, $2\frac{1}{2}$ in. thick, was composed of a mix 1 part Portland cement to 1 part crushed shingle to $1\frac{1}{2}$ parts gravel, with water to produce a mass of a definite consistency. The temperature of the cement just before mixing was 115 deg. C.

Traffic was allowed on the slab after two days, the concrete being kept moist in the meantime. After 11 weeks of heavy duty the concrete was inspected, and it was found that no cracks were visible and no signs of disintegration, the surface being in excellent condition. With sand mortars made from cement at 122 deg. C. before mixing (which became 30 deg. C. in the mix) the average tensile strength after 28 days was 420 lbs. per sq. in., against 510 lbs. per sq. in. when the temperature of the cement and the mortar at the time of mixing was 15 deg. C. With concrete, on the other hand, the difference was smaller; indeed, in tests made with cement at 30 deg. C. before mixing the strength was a trifle higher than in those made at the lower temperature. The results of the investigations, the Building Research Board therefore considered, showed that no restriction need be put on the employment of hot cement when it is convenient, and this confirms the view long held by others who have studied the subject.

With the introduction in recent years of rapid hardening Portland cement, confusion very often arises in the minds of users as to the distinction between quick "setting" and quick "hardening." The initial setting, final setting, and hardening, of cement, are successive stages in the chemical process which commences when water is added to cement powder. The first stage, initial setting, comprises the period before the paste begins to coagulate as a result of the decomposition and regrouping of the constituents brought about by the water. It is followed by final setting which is measured by applying pressure to the surface with a "needle" and is usually considered complete when the needle only makes a slight impression.

The setting may take anything from a few minutes (quick setting) to several hours (slow setting) according to the cement. Hardening continues uninterruptedly, however, and after the final setting time has been recorded chemical changes continue and the hardened paste gradually acquires increasing strength. This latter is the "hardening" period and it will be clear that a "rapid hardening" cement is one which acquires strength and hardness quickly.

Thus two cements, one ordinary and one rapid hardening, may take the same length of time to "set" but the latter will be much the stronger at the end of 24 or 48 hours. The hydration of these cements is discussed by F. O. Anderegg and D. S. Hubbell, in the proceedings of the American Society for Testing Materials. They show how standard Portland cement particles, whose original dimensions were 15 to 25 microns, approached complete hydration in nine months, while the reaction was practically complete at twelve months. A high early-strength cement seemed to reach a similar degree of hydration in about five months. Tricalcium aluminate hydrated very rapidly, particles approximately 25 microns in diameter being about three-quarters hydrated in three hours. Tricalcium silicate particles of this size required about seven days for a similar degree of hydration, while dicalcium silicate required about 5.5 months.

Notes from the Foreign Press.

Abstracted by J. W. CHRISTELOW, B.Sc.

Modern Cement Burning. H. LUFTSCHITZ. *Tonind. Zeit.*, Vol. 55, p. 184, 1931.

Increased economy in burning cement is to be looked for in a more efficient utilisation of the cross-section of the kiln for heat transfer than is possible with the rotary kiln, and in reducing the length of the rotary kiln behind the clinkering zone. This will only become possible by allowing the raw meal to fall freely through a vertical kiln, or by forcing it through a horizontal stationary kiln. Only a short time is required to clinker fine meal; it is not necessary for nodules of clinker to be formed. Two pioneer processes leading in the right direction are the Schröder vertical kiln and the Rigby spray process. In the Schröder kiln the raw meal falls through a tube heated by the combustion of powdered coal falling freely through an outer annulus. Raw material, fuel and air enter the kiln separately. Cold air is compressed in tubes situated between the kiln shell and masonry, and these tubes are heated by the hot gases on their way to the stack. There is a separate exit for the carbon dioxide driven from the raw meal. In the Rigby process a fine cloud of slurry is sprayed through multiple nozzles into the rotary kiln, so that the length of the drying zone can be reduced.

Rapid Determination of Magnesia in Portland Cement. C. ROGOZINSKI. *Tonind. Zeit.*, Vol. 55, p. 355, 1931.

Mix 1 g. cement with 5 cc. water in a porcelain basin. Stir in 15 cc. HCl (1 : 2) and heat for two hours on a water bath almost to dryness. Moisten with 5 cc. HCl (1 : 1), cover, and stand 10 mins. Add 25 cc. hot water, stir, cover, and heat on a water bath for five minutes. Dilute to 70 cc. with hot water, decant through a filter, and wash thrice by decantation. Dilute filtrate (cold) to 150 cc. and titrate with N NaOH, stirring till the liquid is slightly turbid. Continue to add NaOH four drops at a time until precipitate begins to coagulate and separate rapidly, leaving the liquid slightly turbid. Then add NaOH a drop at a time, stirring continuously until the precipitate settles leaving the liquid clear. This can be detected to within two drops NaOH. Filter into a 300 cc. standard flask, and wash the filter three times with boiling water. Cool filtrate, add 30 cc. N/5 NaOH, fill to mark, mix, and allow to stand for half an hour. The $Mg(OH)_2$ separates and settles leaving a clear liquid, which is siphoned into a dry filter and collected up to the mark of a dry 300 cc. standard flask into which 30 cc. N/5 HCl has previously been run. Mix, and pour the contents of the flask into a beaker, rinsing the flask well. Add 10 drops of 1 per cent. phenolphthalein and titrate contents of flask with N/5 NaOH.

The percentage of MgO is given by the formula :

$$0.4 \left\{ 30 - (30 - a) \cdot \frac{30}{27} \right\}$$

where a is the number of cc. of NaOH used in the final titration; 0.2 per cent. must be added to the result when the MgO content is 5 per cent. or below.

Faulty Setting of Aluminous Cement. H. W. GONELL. *Zement*, Vol. 20, p. 164, 1931.

The author repeats the "dusting" tests he carried out in 1929. Test-pieces of "Alca" aluminous cement were stored in moist air, carbon dioxide saturated with water vapour, and other atmospheres. After 24 hours storage cuts were

made across the specimens, applying the knife with uniform gentle pressure. The depth of penetration corresponded to the thickness of the "dusting" layer. Dusting was much more pronounced with the pats stored in moist CO_2 , and it is concluded that the CO_2 of the air in the presence of moisture is the chief cause of faulty setting of aluminous cements; surface drying is at most a subsidiary cause. Hardened aluminous cement is not affected by CO_2 . The effect of CO_2 during setting increases as the ratio $\text{CaO} : \text{R}_2\text{O}_3$ decreases.

Preparation and Properties of Dicalcium Silicate, Tricalcium Silicate and Tricalcium Aluminate. I. WEYER. *Zement*, Vol. 20, p. 48, 1931.

The three compounds were prepared, and their constants determined, as part of the author's research on the reaction between kaolin and lime. In the case of tricalcium silicate the crystals obtained are too small for accurate determination of the crystallographic and optical data.

The Alite Problem. A. GUTTMANN and F. GILLE. *Zement*, Vol. 20, p. 144, 1931.

The evidence afforded by recent work on the constitution of alite is reviewed, and it is concluded that (1) the existence of the compound tricalcium silicate can no longer be doubted; (2) alite, the main constituent of high-lime Portland cement clinker, is identical with this compound.

Setting Time of Portland Cement. H. WEITHASE. *Zement*, Vol. 20, p. 187, 1931.

The effect upon the initial and final setting time of 55 cements, of exposure to air for 24 hours in a layer 2 to 4 cm. thick, was investigated. The cements used were high-lime Portlands of 7 to 8 per cent. residue on the 250 (per inch) sieve. In all but two cases initial set was considerably accelerated, in the most extreme case from 80 to 15 minutes. Final set was delayed in all but three cases, the most pronounced increase being from 120 to 250 mins. The same effect was found with cements gauged with CO_2 solution. The tests indicate that changes in setting time depend (1) on chemical composition (high lime content), and (2) on the action of CO_2 in the air. Strength tests show that this change in setting time is not accompanied by serious reduction in strength.

Effects of Additions to Portland Cement. P. P. BUDNIKOFF and M. I. NEKRITSCH. *Zement*, Vol. 20, p. 192, 1931.

The effect of various added materials on the strength of Portland cement was investigated. The materials used, viz., chalk, dolomite (dried, burnt at 400 deg. C., and also at 800 deg. C.), marl (dried, and burnt at 600 deg. C.), are dried at 120 deg. C., ground, and mixed with the cement in a laboratory ball mill, in a range of proportions up to 30 per cent. The products are tested as 1 : 3 mortar.

The mechanical properties of the cement are only slightly affected by these additions. Tensile strength is somewhat reduced, the greatest reduction being found with burnt marl, and the least with 30 per cent. dried dolomite (from 427 to 398 lb. per sq. in.). With smaller quantities of dolomite there may even be a slight increase of tensile strength (e.g., with 10 per cent. from 427 to 462 lb. f.). Crushing strength is in many cases increased by the additions. It is concluded that 10 per cent. of these materials can safely be added to Portland cement during grinding. Chalk appears to be most suitable in view of its wide distribution and low cost. The following results were obtained at three months with 10 per cent. chalk: Tensile strength, cement 427 lb. per sq. in.; with chalk, 395 lb. Crushing strength, cement 3,953 lb.; with chalk, 4,297 lb.

Dust Removal in the Cement Industry.

ONE of the most notable features of the present time is the increasing attention being paid to measures for the prevention of the pollution of the atmosphere by dust emission. Research in various directions has shown that as far as general amenities are concerned it is not sufficient to remove the coarser dust only and that the elimination of the finer dust also is of importance.

Rightly or wrongly public opinion seems to be that the main offenders with respect to the emission of dust are power stations and various industries, and

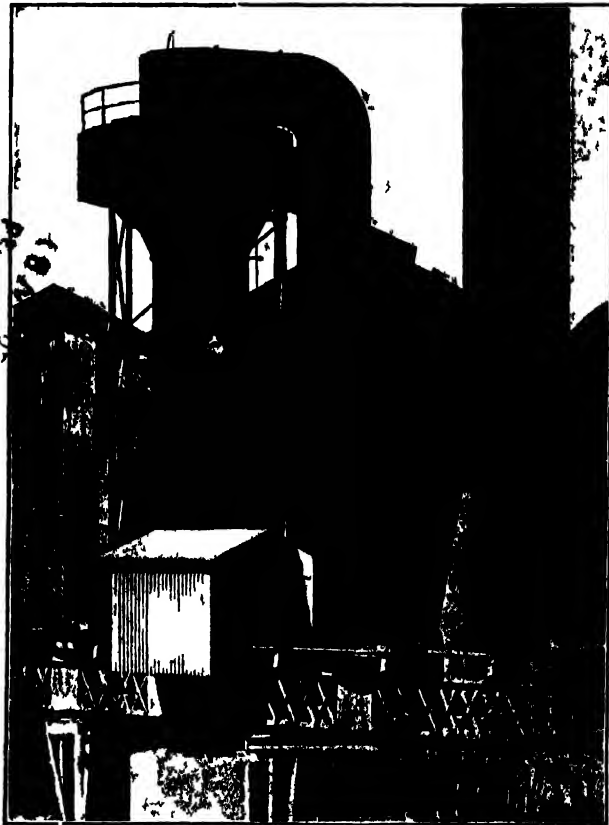


Fig. 1.

consequently increasing attention is being paid to the prevention of dust in these connections as far as is possible. The cement industry presents many opportunities for the co-operation of the manufacturer and the expert in dust collection to their mutual benefit, typical instances of which are the prevention of the emission of dust from the kiln chimneys, from the mills, and from the bagging machines. Some instances, therefore, of what has already been accomplished in this direction by plant supplied by Messrs. Davidson & Co., Ltd., of Belfast, may not be without interest. More than 500 collectors supplied by this firm are already at work on boiler plant in power stations and

industrial plants in Great Britain and abroad, separating about 150,000 tons of dust per annum from flue gases, being 70-95 per cent. of the total material carried in suspension. Also, more than 400 collectors are now in use for general dust separating in various industries, including cement works, stone-grinding plant, and clinker-asphalt making plant.

These patent dust collectors operate on the principle of centrifugal force, but aided also by gravity, using three general types of apparatus according to circumstances, that is the Direct, Shunt Pressure and the Shunt Suction. The Direct type consists of a main horizontal casing of volute shape into which

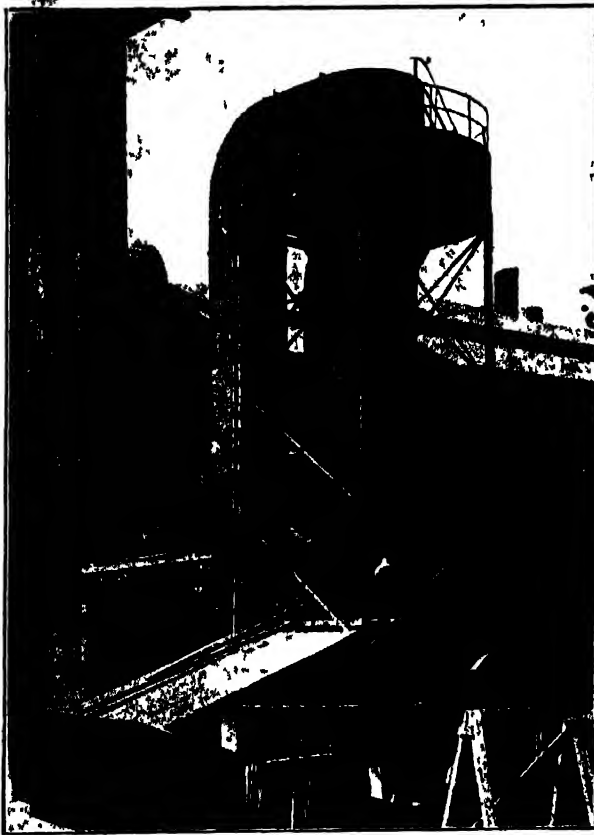


Fig. 2.

flow tangentially, on the way to the adjoining chimney, the whole bulk of the dust-laden flue gases from the boiler plant with operation by means of an induced draught fan. The gases travel round at high velocity and the heavy dust is thrown to the outside by centrifugal force, while, because of the volute shape, this pronounced separating action gradually increases as the radius of the casing diminishes. From the top the dust-free gases pass into the chimney by a trunk, while at the bottom is a large-diameter conical outlet terminating in a vertical conical trunk of considerable height leading to a closed dust-storage chamber. The action on the dust particles is also that of gravity, aided further by the conical shape of the bottom of the casing, and as the material

is continuously urged downwards as well as outwards many of the lightest and smallest particles often pass several times round in a spiral direction.

The Shunt Pressure and Shunt Suction types, one being operated on the discharge side of the fan and the other on the suction, are modifications of the Direct type, in which only part of the boiler gases passes through the actual dust collector. In other words, the centrifugal separation is carried out in two stages by means of (1) a primary collector, built in volute shape around the chimney, or separately if desirable, and (2) a secondary collector, being a small direct type which deals with the outer layer of gases, taken out by a vertical tangential slot containing practically all the dust, which is shunted



Fig. 3.

from the primary collector. In this secondary or small Direct collector all the dust is recovered as usual while the dust-free gases, like those from the primary collector, pass out to the chimney.

An important point in connection with these collectors is that the gases are not lowered in temperature and no water sprays are used, so that the trouble of the deposition of a dirty acid rain in the vicinity of the stack or outlet vents is avoided.

A typical example of the firm's "Sirocco" dust collectors of the Shunt Pressure type is an installation at a well-known cement works which has two rotary kilns, each 200 ft. long by 9 ft. diameter, the wet process being operated. For each kiln there is fitted an 88 in. diameter "Sirocco" induced-draught fan having a capacity of 70,200 cub. ft. per minute against $2\frac{1}{4}$ in. water gauge, with a temperature of 750 deg. F. driven by a direct-coupled 75 B.H.P. variable-speed motor. The general operating conditions are approximately 7 lbs. of hot gases per lb. of clinker produced, with a maximum kiln duty of $8\frac{1}{2}$ tons of clinker per hour, the actual volume being just over 70,000 cub. ft.

per minute while 3,000 tons of cement are made per week, about 4,000 H.P. representing the total power.

Each of the two chimneys, which are 75 ft. high, one for each kiln, is also provided with a Shunt Pressure collector, the chimneys being 8 ft. 6 in. diameter with $4\frac{1}{2}$ in. internal brick lining, while in normal working conditions with a burn of eight tons of clinker per hour, $1\frac{1}{2}$ cwt. of dust are collected per hour. This dust is in an extremely fine state of division, averaging 17.32 per cent. left on a 200 mesh, with 82.52 per cent. through a 200 mesh and 49.26 per cent. through a 325 mesh, the weight per cubic inch being 308 grains, while the gases from the collectors discharging to the chimneys are quite clean.

The packing house, equipped with three Bates double-spout packers, each



Fig. 4.

capable of handling 25 tons of cement per hour in 1-cwt. paper bags, is fitted with "Sirocco" Direct type dust collectors, eliminating dust discharged to the atmosphere and keeping the house itself in a good condition as regards ventilation and freedom from dust. The dust separated by these collectors in the packing plant is in an extremely fine state of division, leaving 5.125 per cent. on a 200 mesh sieve, and passing 94.57 per cent. through a 200-mesh and 25.8 per cent. through a 325 mesh sieve.

Another interesting installation of "Sirocco" dust collectors, in this case of the Direct type, is in a modern cement works in Great Britain, where two large rotary kilns are installed. In one of these the fan handles up to 43,500 cub. ft. of gas per minute at 320° C. and 6 in. water-gauge, whilst the Direct type collector takes normally 41,000 cub. ft. of gases per minute at 550° F.

The general arrangement in both cases is the same, as each rotary kiln has its own Direct type collector, both discharging to one central chimney with semi-overcast induced draft fans. Two methods of feeding the kilns are used; with one the total dust collection varies between 18 and 22 cwt. per hour and with the other between 36 and 40 cwt. per hour.

A Direct type collector has also been successfully applied to a rotary lime kiln; this is a particularly severe test of dust collection, because of the fine state of division. The following is the screen analysis of a typical lime dust separated by the collector:

			%
Through	90 mesh	...	99.62
„	150 „	..	99.29
„	200 „	.	96.85
„	325 „	.	93.40

with 0.33% left on a 90 mesh.

The plant illustrated is as follows: Fig. 1, dust collector in use on a rotary kiln, trapping one ton of dust per hour; Fig. 2, similar collector trapping 18 to 20 cwt. of dust per hour; Fig. 3, collector placed above dust chamber; Fig. 4, dust collector installed in packing house.



ANDREAS

ENGINEERING AND CONSTRUCTION CO., LTD.,
MUNSTER :: WESTPHALIA :: GERMANY.

VALVE BAG PACKING MACHINES

(German Government Patent and World
Patents ANDREAS System.)

for

CEMENT, LIME
AND GYPSUM.

HITHERTO UNACHIEVED HIGH OUTPUTS.

WEIGHT: Most exact obtainable.

POWER CONSUMPTION: Lowest possible.

WASTE: Negligible.

SAVING: Considerable, due to specially short sacks; COST OF PLANT SAVED IN ONE YEAR.

CASK PACKING MACHINES

KRUPP GRUSONWERK-ANDREAS
System.

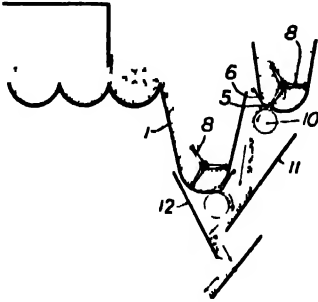
German Government Patent pending.
Highest Output and Most Exact Weights.

Please ask for free quotations or visit
by our Engineer without obligation.

Recent Patents relating to Cement.

Feeding Devices. SALFRNI, E M, 33, Rue de la Bienfaisance, Paris September 20th, 1929 No. 335,731.

Two or more hoppers or containers for regulating the feed or delivery of solid materials, each comprising a hopper (1), an



outlet (5) regulated by a plate (6), and a rotary member (10) co operating with the outlet, are arranged to discharge their contents on to two or more inclined plates (11, 12) to effect a mixing or blending of the

material. Agitating means (8) is inserted in the bottom of the hopper.

Portland and Roman Cements. BERRY, H., Woodview, Welwyn, Hertfordshire. April 30th, 1929 No 332,925.

A cement is formed by heating calcium or magnesium oxide or hydroxide in an atmosphere containing sulphuric or sulphurous acid and grinding the resulting product with a base material such as waste slate, china clay, coal shale sand, flint, or other mixtures of silica and alumina. The heat treatment in the acid atmosphere may be the primary calcination, for instance, of the carbonate, or may be a secondary calcination, and is preferably carried out at a temperature of 700-900 deg C and in the presence of steam. The products of a primary calcination may be dipped in a solution of sulphuric or sulphurous acid or then salts before being heated in the acid atmosphere, a preferred solution being aluminium sulphate acidified with sulphuric acid. Blast furnace slag may be regarded as a composition of base and binding materials, and may be used directly by calcining in an acid atmosphere.

THE SIROCCO FAN

PIONEER OF MODERN MULTIBLADED FANS

Available in a large variety of sizes and types
For every purpose involving the movement of air or gases.

DAVIDSON & CO., LIMITED.
SIROCCO ENGINEERING WORKS, BELFAST.

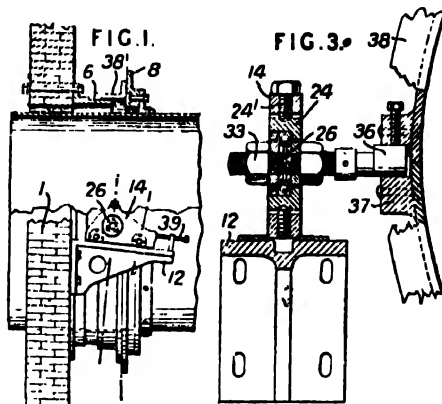
LONDON, CARDIFF, BRISTOL, GLASGOW,
MANCHESTER, BIRMINGHAM, NEWCASTLE



Grinding, Crushing, etc., Mills. ALLIS-CHALMERS MANUFACTURING CO., 62nd Avenue, Milwaukee, Wisconsin, U.S.A. August 16, 1929. No. 333,061.

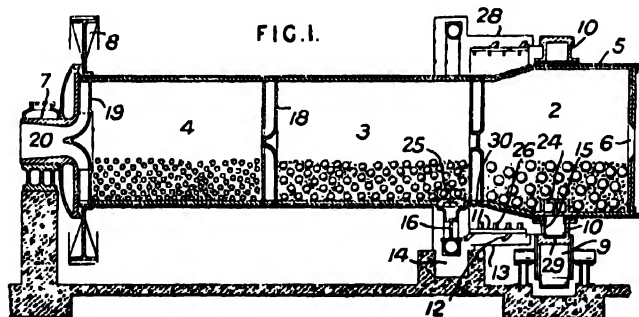
In a tube mill a medial portion of the shell (5) is rotatably supported upon a tyre (10) which has a passage (24) for introducing material into the communicating chamber. The tubular shell (5) is supported by the tyre (10) which rests on rollers (9) and by an end trunnion (7), and is driven by a gear wheel (8). The tube is subdivided into compartments (2, 3, 4) of which (2) is the preliminary grinding compartment, the feed being introduced therein by the inlet (6). Outlets (30) are formed in the compartment (2) and the ground material falls on to a sieve (11) from which the coarse particles are conveyed by a worm (26) to inlets (15) in the side of the tyre (10). The tyre (10) is provided with a lining (29) and with partitions (27), not shown, which leads to ejectors (24) and through which the coarse material is transferred back to the grinding chamber (2). The fine material passing through the sieve (11) falls on to a stationary plate (13), and blades (12) rotatable with the sieve convey the material to a receptacle (14). Scoops (16), rotatable with the casing (5), dip into the receptacle (14) and convey the material into the chamber (3) through inlets (25). The material ground in the

into bearings (37) on the ring, are eccentrically formed to provide a vertical adjustment for the ring, and a horizontal adjustment can be effected by means of the lock nuts (33). An angular adjustment in a horizontal plane is provided for by swivelling the ball



ROTARY KILNS AND DRIERS.

bearing mounting (24) of the stub shafts on set screws (21), and set screws (39) on the brackets (12) allow the sealing-ring to be adjusted when desired to admit air at the joint. A flange member (6) is bolted to the end wall, and takes into the longitudinally extending portion of the sealing-ring.



chamber (3) then passes through holes in a partition (18) into the final grinding chamber (4), from which it is discharged through holes in the partition (19) to the outlet (20). The sieve (11) and scoops (16) are encased in a removable casing (28).

Rotary Kilns and Driers. HURON INDUSTRIES, INC. and GREEN, B. E., Alpena, Michigan, U.S.A. August 28th, 1929. No. 336,729.

A sealing ring between a rotary kiln and its fixed end heads is so mounted that its weight tends to maintain a tight joint. In the construction shown, a floating sealing-ring (38), which bears against a flange (8) bolted to the drum, is mounted by stub shafts (26) on carriages (14) running on inclined brackets (12) bolted to the wall (1). The ends (36) of the stub shafts, which take

Silicate Cement. CEMSH. SOC. ANON. IT., 11, Via XX Settembre, and BOGGERO, G., 14, Corso Galileo Ferraris, both in Turin, Italy. March 9th, 1929. No. 334,831.

A binding agent for mineral aggregates, bone dust, saw-dust, cement, etc., is prepared by treating a solution of alkaline silicate or mixture of silicates with weak acids such as carbonic acid, sulphurous acid, boric acid, or acid salts with constant stirring up to the maximum permissible degree preceding coagulation. The agglomerates are dried and treated with a fixing agent such as calcium chloride. To improve the waterproofing qualities of the solution, sulphur, preferably in the colloidal state may be introduced. In the manufacture of street paving, ballast is watered and compressed and the binding agent poured on

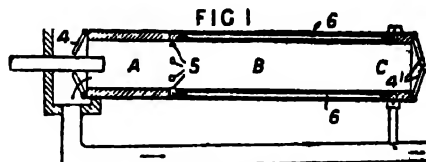
at the rate of about 5 to 10 kilos per square metre. It is then dried and less coarse ballast, mixed with the binding agent, laid on, compressed, dried and sprayed with the fixing solution. In the manufacture of slabs, stones, etc., about 10 per cent of the binding agent is mixed with the aggregate and rammed in moulds, dried and immersed in the fixing solution. In mineralising and waterproofing surfaces the binding agent, with or without pigments, is applied to the surface, allowed to dry, and the operation repeated two or three times. The binding agent may be employed for facing cement buildings with other materials such as marble and for manufacturing refractory or ordinary bricks.

Grinding and cooling cement, &c.
VICKERS-ARMSTRONGS, LTD, Vickers House, Broadway, Westminster and PARKER, L. D., 32, Thorncliffe Road, Barrow-in-Furness. October 3, 1928, No 28368.

A combined grinding mill and cooling apparatus for cement, etc. comprises a rotary mill (1) (17) communicating with a stationary annular discharge header (18). The tube jackets may be perforated so that cooling water is sprayed on the water jacketed cooling tubes (5). The cement clinker is fed through the trunnion (2) into the mill and the ground cement passes through the openings (3) in a plate at the opposite end of the mill and radial ducts (4) into the tubes the jackets of which are provided with cooling water inlet and outlet pipes (2, 11) connected to annular water

Rotary Furnaces. KRUPP, GRÜSONWERK Akt-Ges., F., Buckau, Magdeburg, Germany. June 10th, 1929. No 834,868.

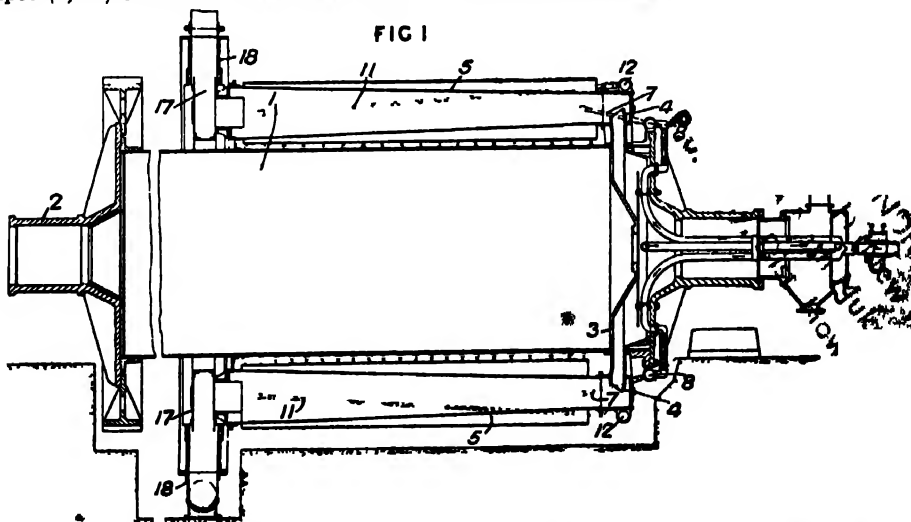
To prevent formation of encrustations in the preheating zone A of a rotary furnace the waste gases are throttled at the feed end of the kiln by dampers (4) adapted to control the full cross section of the kiln, and a part of the gases is withdrawn through openings (5) at the beginning of the react



ROTARY FURNACES

tion zone under such conditions that they do not contribute to the further heating of the zone A after leaving the furnace chamber. As shown, the withdrawn gases are exhausted to the flue through passages (6) in the walls of the reaction and cooling zones B, C. The material to be treated may be preheated to a temperature of 600-800 deg C before it is supplied to the furnace. Dampers (4) may also be fitted at the discharge end of the furnace. Specification 225 642 is referred to.

Refractory Compositions. HAGIUND, I. R. 13 Frikslegsgatan, Stockholm. November 22nd 1929. Addition to No 02 097. No 343 896.



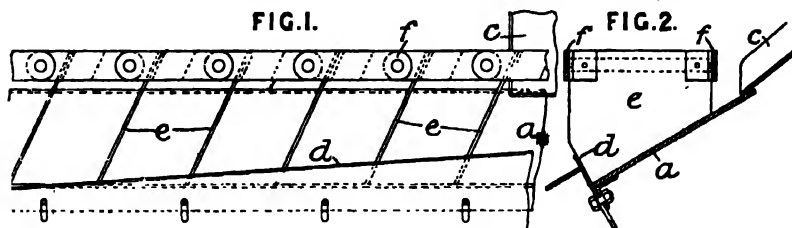
main (8, 12). After traversing the tubes the cement flows into a rotary annular header to the mill and the tubes may be provided with agitating means such as helical ribs or rotary blades.

Cement, Concrete and Gypsum. Dr. M. PLATON, No. 290,854.

A refractory material is prepared as in the parent Specification by melting together oxides of magnesium, aluminium, chromium and silicon, but in which the proportions are so controlled that the triple sum of the percentages of silicon oxide and iron oxide with the excess of aluminium oxide

over chromium oxide or preferably over half the chromium oxide does not exceed 60. Where the aluminium oxide does not exceed the chromium oxide the computation is made with respect to the silica and the iron oxide alone. Preferably the oxides of magnesium, aluminium, and chromium, together amount to 80 per cent. or more; the aluminium oxide lies between 10 and 25 per cent.; the percentage of chromium oxide is

apparatus, the base (a) of the trough being inclined transversely to the side (d) and a scraper (e) being movable along the trough for displacing the contents. The scraper comprises an inclined plate or plates (e) attached to a movable chain (f), the bottom of the plates being shaped to fit the trough. Coal, etc., is fed to the trough through a chute (c) and is carried along by the scraper (e), whereby it is displaced over the edge



less than twice that of the aluminium oxide; and the iron oxide is less than 5 per cent. Examples of proportions are given.

Grinding, Crushing, etc., Mills. BARKER, W. H., and BENNETT, W., Etna Works, Fenton, Stoke-on-Trent. September 18, 1920. No. 334,392.

In coal and other mineral-sorting apparatus a distributing trough (a, d) is provided having a tapered or stepped side (d) over which the material can pass to the sorting

of the trough (d) and is spread uniformly over the screen. Two or more sets of sorting plates, screens, etc., may be placed side by side.

[The foregoing are taken from "The Illustrated Official Journal (Patents) by permission of H.M. Stationery Office. Copies of full specifications may be obtained from the Patent Office, 25, Southampton Buildings, W.C.2, price 1s. each.]

Trade Notices.

Cement-making Machines.—Messrs. Mining & Industrial Equipment, Ltd., have issued a new booklet (copies of which will be sent on request) illustrating and describing some of their plant for the cement manufacturer. These include: Grinding—Hardinge conical ball mills, Hardinge conical pebble mills, Raymond roller mills, Raymond automatic pulverisers, Lupulco mills; Screening—Hammer electric screens, Ro-Tap testing sieve shakers, Tyler testing sieves; Air Separation—Hardinge air classifiers, Raymond air separators, Gayco centrifugal separators; Wet Classification—Andrews hydraulic classifiers, Andrews de-slimers, Andrews rapid laboratory elutriators; Filtering—Rovac rotary filters; Thickening—Hardinge thickeners; Feeders—Hardinge constant weight feeders.

Excavators.—During the last five years over 450 Ruston-Bucyrus No. 4 excavators have been sold in Great Britain alone, and further improvements have now been effected in the machine which are detailed in a new catalogue just issued by Ruston-Bucyrus, Ltd., of Lincoln. The major improvements are as follows: new cast-steel under carriage, simplified travelling gear, more ground clearance, lower bearing pressure on the ground, simplified cab steering from a single lever by the side of the driver while the machine is in motion, controls taken through the centre post, digging brake, new shovel jib, new shovel bucket with cast steel back, deeper trench (16 ft. instead of 14 ft.), greater dragline radius (30 ft. instead of 28 ft.), new housing with more windows, new diesel engine special excavator type. Copies of the new catalogue will be sent to interested readers on application.

P.O. Bally, Dist. New York (N.Y.)

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

LE JOURNAL INTERNATIONAL DU CIMENT EN QUATRE LANGUES.

PARTIE FRANÇAISE

Le four rotatif dans la fabrication du ciment.—X.

Par W. GILBERT.

Séchoir à contre-courant, sans chambre maçonnée.—(134) Nous avons vu que la chambre maçonnée ne jouait qu'un rôle relativement restreint dans la transmission de la chaleur au charbon, et nous nous proposons maintenant d'examiner le fonctionnement d'un séchoir qui n'en comporte pas, et dont le tambour ne reçoive, par suite, aucune chaleur de l'extérieur; on rencontre du reste souvent dans l'industrie des appareils de ce genre, où ils servent au séchage de matières très diverses.

La figure 40 (page 871) représente schématiquement un séchoir ainsi agencé. L'enveloppe a 1 m 524 de diamètre et 12 m 80 de longueur, pour la partie pourvue de cornières agitatrices; le carneau, côté alimentation, porte le repère B, et la coulotte d'amenée du charbon le repère C. L'air ou les gaz chauds arrivent à la température de $371,1^{\circ}$ par le conduit E dans la caisse de décharge D; la source de chaleur est le four rotatif, ou un foyer. La décharge du charbon se fait en F. Le séchoir fonctionne suivant le principe du contre-courant, autrement dit, charbon et gaz chauds circulent en sens inverse; la production horaire est de 5 tonnes de charbon, supposé séché, la teneur primitive en eau étant de 15%.

(135) La figure 41 (page 872) est le diagramme des températures finalement obtenues. La température des gaz passe de 371 à $71,1^{\circ}$, et celle du charbon de $15,6$ à $148,9^{\circ}$, comme précédemment. Le diagramme comporte en outre une courbe, donnant la température de l'enveloppe en chaque point de sa longueur. La plus grande partie de la chaleur se transmet directement des gaz au charbon en tombée; une certaine fraction de la chaleur des gaz est cependant cédée par ceux-ci à l'enveloppe. L'enveloppe cède à son tour par rayonnement une certaine partie de la chaleur qu'elle reçoit au charbon, et la différence est cédée par l'enveloppe à l'air extérieur, où elle se dissipe.

La chaleur cédée se répartit proportionnellement comme suit :

	%
(a) Par les gaz chauds, directement au charbon	92,8
(b) Par les gaz chauds à l'enveloppe	7,2
	<hr/>
	100,0

La chaleur cédée à l'enveloppe se subdivise comme suit :

	%
(c) Cédée par rayonnement par la surface intérieure de l'enveloppe au charbon	1,1
(d) Perte dans l'air ambiant, par la surface extérieure de l'enveloppe	6,1
	<hr/>
	7,2

L'absence de maçonnerie augmente la perte par rayonnement de l'enveloppe de 2,4 à 6,1% (par. 112), mais cette quantité est relativement faible.

(136) *Chaleur consommée par minute.*—D'après le paragraphe (115), la chaleur nécessaire pour chauffer le charbon est de 13 039 calories; à cette quantité, il faut ajouter la perte par rayonnement de l'enveloppe, calculée plus loin, soit 848 calories, ce qui fait un total de 13 887 calories. Comme la chute de température du gaz est de 300°, il faut par minute un poids de gaz de

$$\frac{13\ 887}{300 \times 0,24} = 192,5 \text{ Kg.}$$

(137) La longueur de 12 m 80 est divisée en six sections, comme précédemment. Les données, nécessaires au calcul envisagé, sont dans l'ensemble analogues à celles énumérées au paragraphe (121). En voici le détail :

(a) Valeur de W à l'intérieur de l'enveloppe =	$\frac{192,5 \times 60}{1,825} \dots = 6348$
(b) Valeur correspondante de Hc pour les échanges de chaleur entre les gaz et l'intérieur de l'enveloppe ...	9,76
(c) Valeur de Hc pour les échanges de chaleur entre les gaz et le charbon d'indice VIII (par. 114) . . .	109,9
(d) Surface de l'enveloppe par section de 2 m 134 . . .	10,22 m ²
(e) Surface du charbon en tombée par section de 2 m 134, par hypothèse 2,134 × 4,59	$= 9,75 \text{ m}^2$

(138) Dans les formules qui suivent, les lettres gTi , gTr , cTi , Qr , S , Td et Hc ont la signification indiquée paragraphe (126); en outre,

Qs = perte de chaleur, dissipée par la surface extérieure de l'enveloppe dans l'atmosphère.

La chaleur cédée au charbon par section de 2 m 134 devient

$$Qr + \frac{Hc \times S \times Td}{60} = Qr + \frac{110 \times 9,80 \times Td}{60} \\ = Qr + 17,87 \text{ } Td.$$

La chaleur cédée par les gaz est de $17,87 \text{ } Td + Qs + Qr$.

En procédant d'une façon générale comme pour (128), on trouve que

$$gTr = 0,43 (gTi - cTi) + \frac{Qs}{38,1} + \frac{Qr}{41,6} \dots \dots \dots (17)$$

$$\text{et } cTr = \frac{gTr}{2,12} = \frac{Qs}{98,0} \dots \dots \dots (18)$$

(139) Le détail des chiffres qui ont trait à la transmission de la chaleur est consigné tableau XIII. Les courbes concernant la température des gaz et du charbon sont d'abord tracées à titre provisoire, en se basant sur la température initiale, et la température finale, qui sont connues. La ligne (a) du tableau correspond à la section (a) reportée sur le graphique.

Les chiffres de la ligne (a) sont obtenus comme suit :

Colonnes (1) et (2). Les valeurs de gT_i et de cT_i ont été précédemment fixées.

Colonnes (3) et (4) les températures moyennes sont prises sur les courbes provisoires du graphique.

Colonne (5). On est obligé de faire une hypothèse pour la température moyenne de l'enveloppe; pour que celle-ci se vérifie, il faut que le chiffre de la colonne (6) soit égal au total des colonnes (7) et (8).

Colonne (6). La différence des températures, telle qu'elle ressort des colonnes (3) et (5) est de $83,9 - 45 = 38,9$. En utilisant les données du paragraphe (137) (postes b et d), nous avons la chaleur cédée par les gaz à l'enveloppe

$$= 9,76 \times 10,22 \times 38,9 = 64,8 \text{ cal.}$$

60

Colonne (7). Pour la température moyenne figurant colonne (5), la chaleur dissipée par l'enveloppe, qui se répand dans l'atmosphère, est prise tableau IV, paragraphe (11). La perte de chaleur en calories par mètre carré par heure est $179 + (7,3 + 9,94) = 250,7$ par suite

$$Q_r = \frac{250,7 \times 10,22}{60} = 42,8$$

Colonne (8). Chaleur cédée par l'enveloppe au charbon. Nous avons :

$$\text{Température absolue de l'enveloppe} = 273 + 45 = 318^\circ$$

$$\text{Température absolue du charbon} = 273 + 21 = 294^\circ$$

$$\text{par suite } Q_r = \frac{10,22}{60} \times 45,6 (318^4 - 294^4) = 21,42$$

Colonne (9) Le chiffre de la colonne (9) est presque égal à celui de la colonne (6), ce qui montre que la valeur admise colonne (5) pour la température moyenne de l'enveloppe semble jusqu'ici avoir été choisie judicieusement.

Colonnes (10) et (11). Le gain de température des gaz (gT_i) et le gain de température du charbon (cTr) pour la section de 2 m 134 sont calculés par les formules (17) et (18) du paragraphe (138), les valeurs pour gT_i , cT_i , Q_s , et Q_r étant prises au poste (a).

Colonne (12). On obtient la température des gaz à la fin de la section de 2 m 134 en faisant le total des chiffres des colonnes (1) et (10).

Colonne (13). On obtient la température du charbon à la fin des sections de 2 m 134 (cTe) en faisant le total des chiffres des colonnes (2) et (11).

Il y a lieu maintenant de procéder à une nouvelle vérification des chiffres de la ligne (a). En établissant les formules (17) et (18) du paragraphe (138) on a admis que $gTa = gT_i + \frac{1}{2} gTr$, et que $cTa = cT_i + \frac{1}{2} cTr$. En appliquant ces égalités à la ligne (a), nous avons

$$gTa = 71,1 + \frac{25,5}{2} = 83,9 \text{ environ}$$

$$cTa = 15,5 + \frac{11,5}{2} = 21,1 \text{ environ.}$$

Ces valeurs sont conformes à celles admises provisoirement pour les colonnes (3) et (4), et par suite nous savons maintenant que la ligne (a) est correcte.

TABEAU XIII.
SÉCHOIR ROTATIF SIMPLE, À CONTRE-COURANT.

Quantités de chaleur exprimées en calories par minute. Températures en degrés centigrades.

	Section du sécheur.																															
	Température initiale des gaz (gTi).		Température initiale du charbon (cTi).		Température moyenne des gaz (gTa).		Température moyenne du charbon (cTa).		Température moyenne de l'enveloppe (sTa).		Chaleur cédée par les gaz à l'enveloppe.		Chaleur dissipée par l'enveloppe à l'extérieur (Qs).		Chaleur cédée par l'enveloppe au charbon (Qr).		Total des colonnes (7) et (8) ($Qs + Qr$).		Gain de température du gaz (gTe).		Gain de température du charbon (cTr).		Température finale des gaz (gTe).		Température finale du charbon (cTe).		Différence de température des gaz au charbon (Td).		Chaleur cédée par les gaz au charbon (18 Td).			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)																	
(a)	71,1	15,5	83,8	21,1	45	64,8	42,8	21,4	64,2	25,5	11,5	96,7	27,1	62,7	1121																	
(b)	96,6	27,1	112,7	34,4	58,3	90,7	66,5	24,4	90,9	32,2	14,6	128,8	41,7	78,3	1399																	
(c)	128,8	41,6	149,5	51,1	73,3	126,5	98,3	26,7	123,0	40,7	18,2	169,6	59,9	98,4	1756																	
(d)	169,6	59,9	195,5	71,6	92,2	172,4	143,9	28,5	172,4	51,6	22,8	221,2	82,7	123,9	2215																	
(e)	221,1	82,7	253,9	97,2	113,8	233,1	204,1	28,5	232,6	65,6	29,4	286,7	112,1	156,7	2797																	
(f)	286,7	112,1	328,3	130,5	140,5	312,5	292,3	21,2	313,5	83,3	36,3	370	148,4	197,8	3533																	
	—	—	—	—	—	1000,0	847,9	150,7	998,6	298,9	132,8	—	—	—	12821																	

ment établie. S'il n'y avait pas accord avec les chiffres des colonnes (3) et (4), on remplacerait ces derniers par 84 et 21, et l'on referait les calculs pour la ligne (a).

Colonne (14). On fait la soustraction $gTa - cTa$, pris colonnes (3) et (4), lorsque l'on s'est assuré que les chiffres sont bons.

Colonne (15). D'après le paragraphe (138), la chaleur cédée par les gaz au charbon est 17,87 Td .

(140) Pour établir la ligne (b) du tableau, on commence par reporter dans les colonnes (1) et (2) de la ligne (b) les chiffres des colonnes (12) et (13) de la ligne (a), et on continue le calcul comme pour la ligne (a).

On voit à la ligne (f) du tableau XIII que les gaz atteignent la température de 370° au lieu de 371,1°, et que le charbon atteint 148,4 au lieu de 149°. La chaleur totale reçue par le charbon par minute selon colonnes (8) et (15) est de 12 972 calories au lieu de 13 039, comme le demandait le paragraphe (15). La surface du charbon en tombée, soit 4,57 m² par mètre courant, comme on l'a admis au paragraphe (137), poste (e), est donc suffisante.

Diagramme des échanges de chaleur (cas du contrecourant).—(141) Le diagramme des échanges de chaleur, qui prend une forme simple avec le dispositif adopté, fait l'objet du graphique figure 42 (page 875). La surface ABCD représente la chaleur totale cédée au charbon, la fraction transmise par rayonnement de l'enveloppe au charbon étant trop petite dans le cas actuel pour figurer à part sur le diagramme. La surface DCFE représente la chaleur qui se dissipe par la surface de l'enveloppe dans l'atmosphère, et qui est perdue. En traçant par exemple une ordonnée à une distance de 10 m 40 de l'extrémité A, on voit qu'en ce point la chaleur est transmise au charbon à raison de 1437 calories par mètre courant du sécheur par minute et la perte due au rayonnement de l'enveloppe est 111,5 calories par mètre courant, par minute.

(142) **BILAN THERMIQUE.**
(quantités par minute).

Pour les postes (a) et (b), le nombre de calories est le même que celui du bilan thermique établi paragraphe (132).

	Calories	%
(a) Augmentation de la température du charbon	3725 ...	22,60
(b) Vaporisation de l'eau	9314 ...	56,60
(c) Pertes par rayonnement de l'enveloppe, selon tableau XIII	848 ...	5,20
(d) Pertes par la cheminée 192,5 (71,1 - 15,5) × 0,24 =	2570 ...	15,60
	16457 ...	100,00

On voit que la chaleur a été dépensée dans la proportion de 56,6% à vaporiser l'eau, contre 59% au paragraphe (132). En d'autres termes, il est nécessaire de fournir une quantité de chaleur équivalente à 5,4 kg de charbon normal, brûlé par heure dans le foyer ou dans le four rotatif.

Conclusion.—(143) Des figures 38 et 41, il ressort que si le sécheur ne comporte pas de chambre maçonnée, la température de l'enveloppe est beaucoup plus basse, d'où perte bien inférieure de matières volatiles, et danger moins grand de détériorer l'enveloppe par une température excessive.

On a montré au paragraphe (130) que la disposition des cornières agitatrices conforme à la figure 31 donnait une surface plus que suffisante au charbon en tombée, et que cette surface devait atteindre 4,57 m² par mètre courant. Il

serait très possible de doubler ou de tripler la quantité instantanée de charbon en tombée en augmentant, soit le nombre des cornières ou fers U d'agitation, soit leur dimension, et en accélérant la rotation du sécheur. Si le poussier emporté du sécheur peut être brûlé dans le four, il suffirait d'employer un sécheur trois fois moins long, sans qu'il soit nécessaire de l'installer dans une chambre maçonnée.

Séchoir à sens unique, sans chambre maçonnée (cas du sens unique).—(144)

Dans les séchoirs de ce genre, les gaz cheminent dans la même direction que le charbon; l'avantage en est que les fines particules de charbon, dont le séchage s'opère facilement, voient leur cheminement longitudinal accéléré par le flux gazeux, tandis que les gros fragments restent plus longtemps exposés à son action desséchante. Les gaz chauds arrivent au sécheur par le carneau, côté alimentation, et pénètrent dans le tambour par le même orifice que la coulotte d'alimentation. Les gaz refroidis ainsi que le charbon sortent par la caisse de décharge.

A titre d'exemple, nous étudierons un séchoir de ce genre sur les mêmes bases que ci-dessus. L'enveloppe a 1 m 524 de diamètre et 12 m 80 de longueur pour la partie pourvue de cornières agitatrices, la production était de 5 tonnes par heure de charbon, supposé séché, contenant 15% d'eau. Le séchoir ne comporte pas de chambre maçonnée.

La figure 43 (page 878) est le diagramme de la répartition des températures. Le charbon quitte le sécheur à 149°, et la température des gaz est nécessairement un peu plus élevée. On admet provisoirement que la température des gaz passe de 460° à 160°, la chute de température étant par suite de 300°, comme auparavant. La surface du charbon en tombée par mètre courant est prise égale à celle de l'enveloppe du sécheur, soit 4,79 m².

(145) *Chaleur consommée par minute.*—La chaleur nécessaire pour sécher le charbon est de 13039 calories, quantité à laquelle il faut ajouter la perte de l'enveloppe par rayonnement, soit 1256 calories, ce qui fait au total 14295 calories. Le poids des gaz est par suite de

$$\frac{14295}{300 \times 0,24} = 198,6 \text{ kg.}$$

et la valeur de W est

$$\frac{198,6 \times 60}{1825} = 6539.$$

H_c pour les gaz et l'enveloppe est pris égal à 9,76 comme précédemment, et la valeur de H_c pour les gaz et le charbon reste égale à 109,9. La surface du charbon en tombée par section de 2 m 134 est $2,134 \times 4,79 = 10,22 \text{ m}^2$, et par suite la chaleur cédée par les gaz au charbon est de

$$\frac{109,9 \times 10,22}{60} Td = 18,71 Td$$

(en calories par minute, par section de 2 m 134 de longueur, comme précédemment).

(146) Les quantités de chaleur cédées fournies par le calcul, font l'objet du tableau XIV. La ligne (a) concerne l'extrémité du sécheur par laquelle entre le charbon, et le graphique figure 43 montre qu'il y a lieu maintenant de tenir compte d'une chute de température de (gTf). En procédant comme au paragraphe (128), on trouvera que

$$gTf = 0,305 (gTi - cTi) + \frac{Qs}{56,24} + \frac{Qr}{61,24} \dots \dots \dots (19)$$

$$\text{de même } cTr = \frac{gTf}{2,06} - \frac{Qs}{98,00} \dots \dots \dots (20)$$

TABLEAU XIV.
SÉCHOIR ROTATIF SIMPLE À SENS UNIQUE
Quantités de chaleur exprimées en calories par minute Températures en degrés centigrades

Section du sécheur.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Température initiale des gaz (gT_i).															
Température initiale du charbon (cT_i)															
Température moyenne des gaz (gTa)															
Température moyenne du charbon (cTa)															
Température moyenne de l'enveloppe (sTa)															
Chaleur cédée par les gaz à l'enveloppe															
Chaleur dissipée par l'enveloppe à l'extérieur (Q_s)															
Chaleur cédée par l'enveloppe au charbon (Q_r)															
Total des colonnes (7) et (8) ($Q_s + Q_r$)															
Chute de température des gaz (gTf)															
Gain de température du charbon (cTr)															
Température finale des gaz (gTe)															
Température finale du charbon (cTe)															
Différence de température des gaz au charbon (Td)															
Chaleur cédée par les gaz au charbon ($18,7 Td$)															
(a)	460,0	15,5	388,3	48,8	137,2	418,3	280,9	137,8	418,7	143,9	66,1	386,1	81,7	339,5	6363
(b)	316,1	81,6	277,7	98,8	120,5	261,5	225,5	38,1	263,7	76,7	34,4	239,4	116,1	178,9	3352
(c)	239,4	116,1	218,8	125,0	112,2	179,7	200,5	-24,2	176,3	41,1	17,8	198,3	133,9	93,8	1758
(d)	198,3	133,8	187,2	138,3	108,3	131,-	189,5	-58,2	131,3	22,2	8,9	176,1	142,8	48,9	915
(e)	176,1	142,7	170,0	145,0	106,1	106,3	182,7	-77,1	105,6	12,2	3,9	163,8	146,7	25,-	468
(f)	163,8	146,6	160,5	147,2	104,4	93,5	177,9	-84,9	93,-	7,2	1,7	156,6	148,3	13,3	249
						1188,3	1257	-68,5	1188,5	303,3	132,8				13105

Après avoir tracé les courbes provisoires pour la température des gaz et celle du charbon, comme indiqué figure 42, on procède au calcul de la manière exposée en vue de l'établissement du tableau XIII.

On voit que la surface donnée par hypothèse au charbon en tombée est largement prévue, car la température des gaz tombe à 156,6° comme indiqué colonne (12), et que la température du charbon s'élève à 148,3°, selon colonne (13). La chaleur cédée par les gaz au charbon est de 13105,2 calories par minute (colonne 15), chiffre dont il faut déduire la chaleur cédée par le charbon à l'enveloppe (colonne 8); la chaleur effectivement cédée au charbon est, par suite, de 13037 calories, ce chiffre correspond aux 13039 calories que nécessite l'opération, comme exposé paragraphe (115).

On notera sur la figure 43 que sur une longueur de 14 pieds (4 m 25) à partir de l'entrée, l'enveloppe cède de la chaleur au charbon, et qu'à partir de là, le charbon cède de la chaleur à l'enveloppe.

(147) **BILAN THERMIQUE (SENS UNIQUE)**
(quantités par minute).

	Calories	%
(a) Augmentation de la température du charbon	3725	17,6
(b) Vaporisation de l'eau	9314	44,0
(c) Pertes par rayonnement de l'enveloppe, selon tableau XIV	1256	5,9
(d) Pertes par la cheminée 198,6 (160 - 15,5) × 0,24	6887	32,5
	<hr/> 21182	<hr/> 100,0

Les pertes par la cheminée sont plus importantes dans ce cas, et diminuent le rendement évaporatoire du séchoir, mais si, en sortant, les gaz passent par le four, la plus grande partie des pertes figurant ligne (d) est récupérée.

Diagramme des échanges de chaleur (cas du sens unique).—(148) Le diagramme des échanges de chaleur pour le cas du sens unique fait l'objet de la figure 44 (page 880). En traçant une ordonnée quelconque sur la ligne de base AB, qui coupe la courbe CD, on obtient la quantité de chaleur cédée par les gaz au charbon, par mètre courant du séchoir. A 2 pieds de l'entrée (0 m 61) le graphique donne ainsi une transmission de 1015 calories par minute. Les ordonnées prolongées jusqu'à la courbe en pointillé EF donnent la quantité de chaleur effectivement cédée au charbon, compte tenu des échanges réciproques entre le charbon et l'enveloppe. Les ordonnées comprises entre la base AB et la courbe GH donnent la chaleur cédée par l'enveloppe à l'extérieur, qui est perdue.

Conclusion.—Nous reportant à la figure 44, on voit que, si la chaleur emportée par les gaz en sortant du séchoir est récupérée dans le four, il n'y a aucune raison de prolonger le séchoir au delà de 28 pieds (8 m 53), et que cette longueur de 8 m 53 peut être elle-même diminuée de moitié ou ramenée au tiers, si la surface du charbon en tombée et la vitesse de rotation du séchoir sont augmentées dans des proportions suffisantes, comme exposé au paragraphe (143). On obtiendrait un rendement suffisant avec un séchoir d'une longueur de 3 m, comptés des extrémités des cornières agitatrices.

Récapitulation.—(149) On a consigné dans le tableau XV les divers chiffres ayant trait aux trois séchoirs dont il a été question.

TABLEAU XV.

Type de séchoir.	Tem- pératures extrêmes des gaz. °C.	Tem- pératures extrêmes du charbon. °C.	Char- bon par minute (supposé séché). Kg.	Gaz par minute. Kg.	W à l'inté- rieur du tambour.	Hc des gaz au charbon (indice VIII).	Perte par rayonne- ment à l'exté- rieur, en calories par minute.	Surface du charbon en tombée en m ² par mètre courant.
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Séchoir à chambre maçonnée et à contre-courant	371—71,1	15,5—149	84,6	185,3	6098	109,9	321	5,03
Séchoir simple à contre-courant	d°	d°	d°	192,5	6348	d°	848	4,57
Séchoir simple à sens unique ..	460—160	d°	d	198,6	6539	d°	1256	4,79

Les méthodes de calcul qui viennent d'être exposées pour déterminer les échanges de chaleur dans les séchoirs à charbon sont applicables aux séchoirs pour matières premières, ainsi qu'aux sècheurs rotatifs pour clinker. A la suite de recherches suivies, on a déterminé les valeurs de *Hc* pour le clinker, selon la grosseur des fragments; ces recherches ont montré l'efficacité du procédé consistant à refroidir le clinker dans un sécheur tournant, provoquant sa tombée régulière.

Les progrès à venir dans la fabrication du ciment.

par RUDOLF ZOLLINGER.

En établissant un parallèle entre le four vertical et le four rotatif, nous constatons d'avance la supériorité du four vertical pour les faibles productions. L'écart que présente la marge des bénéfices dans les deux procédés tend à devenir nul à mesure qu'il s'agit d'une production plus forte, et à partir d'une certaine quantité, c'est avec le four rotatif que les profits sont les plus grands.

Négligeons momentanément la question de l'amortissement du capital investi, auquel on fait face plus aisément dans le cas des petites usines, ce qui favorise le four vertical, moins onéreux, et considérons les questions des frais de main-d'œuvre et de l'énergie. Plus une usine est importante, plus elle est placée favorablement à ces deux points de vue. La consommation d'énergie n'augmente pas en proportion de la masse à mettre en mouvement (c'est-à-dire avec la dimension de l'appareil), de sorte que si l'on portait au double la production d'un broyeur à ciment, il ne s'en suit pas que sa consommation d'énergie soit multipliée par deux, car l'augmentation est relativement bien plus faible. La situation est encore bien plus favorable en ce qui concerne les frais de main-d'œuvre, car l'homme chargé du broyage peut aussi bien surveiller un broyeur d'une production horaire de 20 tonnes, qu'un autre de 2 tonnes.

Les besoins en main-d'œuvre et en énergie, en ce qui concerne le broyage, les transports, etc., sont les mêmes pour les usines des deux types; il en est autrement, par contre, pour le four. A ces deux points de vue, un four rotatif peut être assimilé à un broyeur, tandis que la capacité de débit d'un four vertical comporte une limite supérieure. L'air que l'on emploie doit se trouver à une pression d'autant plus forte que l'importance de la production est grande, et la consommation d'énergie qui en résulte augmente dans de telles proportions, qu'au delà d'une certaine production, il n'est plus possible de mettre un four vertical en exploitation avec profit; pour augmenter la production au delà de cette limite, il est nécessaire d'installer un second four. La production limite d'un four vertical est d'environ 120 tonnes; pour produire 360 tonnes par jour, ce qui est encore en deçà des possibilités du four rotatif, il faut par suite trois fours verticaux. Avec un four rotatif, il n'y aurait pas lieu d'augmenter le personnel, tandis que pour les fours verticaux, il faudrait le tripler, ou au moins le doubler dans le cas le plus favorable.

Le système qui est le plus économique au point de vue thermique a par suite un débit limité, et le four dont le bilan thermique est le moins favorable tire ses avantages de ce que sa production peut atteindre un chiffre supérieur. Cette économie ne ressort toutefois pleinement que dans les usines d'une certaine importance, et, si l'on tentait d'installer des chaudières à chaleurs perdues dans les petites usines, on n'arriverait qu'à fournir un argument de plus aux partisans de cette doctrine, que l'utilisation des chaleurs perdues ne constitue pas une économie, mais ne fait qu'augmenter les frais d'exploitation des fours rotatifs.

La technique de l'industrie du ciment ne peut naturellement pas être considérée comme définitivement fixée, et l'on s'efforce sans cesse de la perfectionner; quand il semble qu'il n'y ait plus aucune chance de réaliser des progrès dans une certaine voie, il ne reste qu'à orienter les recherches dans une direction différente. Nous avons vu que le four vertical est arrivé à la production maximum dont il est capable; pour améliorer le four vertical à grand rendement, on a été conduit à diminuer la durée de la cuisson, autrement dit on a accéléré la descente des matières dans le four. Cela n'est possible que si l'air circule en quantités plus grandes, ce qui revient à dire que la vitesse et la pression de l'air doivent être augmentées. L'obtention d'une pression plus élevée est une question de ventilateurs, donc, et surtout, d'énergie. Comme il a été déjà dit, les besoins supplémentaires d'énergie deviennent si grands, que ce procédé n'est pas applicable avec profit au delà de la limite actuellement atteinte. Il en est par contre tout autrement avec le four rotatif, mais il n'est personne pour croire qu'il soit parvenu à son développement définitif. Pour le four vertical, on est à peu près arrivé à la consommation de combustible théorique, et son bilan thermique est presque parfait, alors que le four rotatif est encore loin de cette perfection. Comme nous allons le montrer succinctement, pour améliorer cet état de choses, on a eu recours à des voies très différentes, et ce n'est que ces tout derniers temps que l'on a attaqué le problème dans son essence. Même si le rendement thermique du four rotatif devait rester inférieur à celui du four vertical, qui est théoriquement presque parfait, on est néanmoins obligé d'admettre que l'avenir du four rotatif prendra toute son importance, le jour où son bilan thermique sera suffisamment amélioré pour se rapprocher de celui du four vertical.

Le point faible du four rotatif est l'utilisation tout à fait insuffisante de sa section transversale pour la transmission de la chaleur. On est ainsi conduit à rechercher d'autres moyens pour tirer parti du calorique des gaz chauds, et celui qui vient le premier à l'esprit est le séchage des matières premières. Cette

solution ne peut intervenir qu'avec le procédé sec, et elle a été délaissée, au moins en ce qui concerne le four rotatif. C'est d'Amérique que nous vient la notion de l'utilisation des gaz de la combustion dans des chaudières à chaleurs perdues, en vue de la production de l'énergie. Il a fallu faire un travail de mise au point considérable, avant que la chaudière à chaleurs perdues ne prenne la forme satisfaisante qu'elle a actuellement, et, même maintenant, elle ne constitue nullement la solution idéale du problème. En premier lieu, elle est compliquée, délicate, d'un prix élevé, et elle ne peut être installée économiquement que dans les usines de toute première importance; en outre, elle rend solidaires deux opérations, qui n'ont rien de commun entre elles.

La seule voie qui permette d'aboutir à une solution présentant un caractère pratique incontestable, consisterait à utiliser les gaz perdus en vue de la production effective du ciment, c'est-à-dire pour le séchage, le réchauffage de l'air, ou dans un autre processus ayant directement trait à la cuisson. Abstraction faite du chauffage préliminaire de la poudre crue dans le procédé sec au four rotatif, on ne peut envisager que le séchage du charbon et le séchage de la boue, dans le procédé humide. La méthode moderne la plus répandue pour sécher le charbon consiste à utiliser dans d'équipement de broyage la chaleur récupérée sur le clinker (dans le broyeur Loesche et le broyeur Rema, par exemple). On discutera plus loin s'il est possible de sécher ainsi la boue.

On a également proposé d'employer les chaleurs perdues au chauffage préliminaire de l'air, par exemple dans une installation du genre des régénérateurs Siemens ou des récupérateurs de haut-fourneau, tels qu'ils sont utilisés en sidérurgie. Il semble qu'il n'y ait aucune objection pratique à formuler à l'égard du régénérateur Siemens, dont l'emploi se justifierait probablement de lui-même. Divers brevets ont été pris dans le même ordre d'idées, selon lesquels une fraction des gaz chauds perdus serait prélevée sur la zone la plus chaude du four, mélangée à l'air frais, et réintroduite dans le four.

On a également suggéré d'allonger le four dans des proportions considérables, en lui donnant par exemple une longueur de 120 m. Il est évident que ce moyen permet d'utiliser les gaz perdus dans le four lui-même et d'obtenir un séchage préliminaire très efficace de la boue. Par contre, l'augmentation de surface se traduira par des pertes considérablement accrues, dues au rayonnement; en outre le four serait très peu maniable, et consommerait une énergie excessive. Comme le montre le procédé Polysius-Lelep, la question mérite toutefois une discussion plus approfondie, et il n'est pas invraisemblable que l'on puisse réaliser des améliorations en exploitant davantage cette idée. À l'heure actuelle on objecte à ce procédé sa complication et les frais élevés qu'entraîne la conduite du four, qui annulent dans une proportion considérable les économies de combustible.

Par application d'une invention de valeur dans la technique du séchage, il paraît également possible de renoncer au principe du contre-courant pour adopter celui du sens unique; une installation ainsi conçue comporterait un four rotatif à deux tambours, montés l'un au dessus de l'autre. Avec une telle disposition, la boue est enfournée dans le tambour supérieur, qu'elle traverse, ainsi que les gaz chauds venant du four de cuisson du bas, ces derniers circulant dans le même sens que la boue. Les gaz chauds perdus séchent la boue qu'ils accompagnent, tout en opérant sa calcination partielle, et cette boue est ensuite enfournée dans le tambour du bas. Le principe du sens unique serait appliqué de la même manière au four de cuisson; le clinker, ainsi que les gaz, sortent à l'extrémité du four opposée à la plate-forme du cuiseur, et les gaz prennent une direction ascendante pour aboutir au tambour du haut, où ils sont utilisés pour le séchage et la calcination partielle des matières crues. Les connais-

sances pratiques que nous avons acquises dans la technique du séchage ont fait ressortir que le principe du sens unique améliore dans des proportions considérables la transmission de la chaleur, et son application pourrait se traduire par l'emploi de fours relativement courts.

En supposant que l'on parvienne à réduire la consommation de combustible du four rotatif au chiffre théorique, il nous faut considérer en dernier lieu si un tel four constituerait l'ultime perfectionnement que la cuisson du ciment puisse recevoir, ou si les appareils de cuisson de l'avenir surpasseront aussi bien le four rotatif que le four vertical. A ce point de vue, il est clair que l'un et l'autre fours sont loin de la perfection; le ciment se forme en un temps relativement court, et dans les fours employés à l'heure actuelle, les matières crues et cuites ont une circulation lente qui dure beaucoup plus de temps qu'il ne serait nécessaire. La rotation de ces masses de matières n'est pas indispensable, et elle entraîne la dépense inutile d'une énergie considérable. Lorsque l'on sera parvenu à opérer la cuisson dans les conditions idéales, les améliorations que l'on pourra envisager alors, comme on le voit, devront être orientées dans la voie du perfectionnement mécanique, et avoir pour objet de créer un appareil consommant le minimum d'énergie. Dans cette voie, on est amené en dernier ressort à se rattacher à la conception formulée par Naske, Meier et Andreas, selon laquelle le ciment serait effectivement produit dans la flamme elle-même. Comme étape suivante, nous en arriverions aux appareils à chauffage direct, c'est-à-dire que le ciment constituerait un sous-produit de la production de l'énergie; on chaufferait alors les chaudières d'une station d'énergie au moyen du mélange, obtenu avec un combustible de basse qualité, et les matières premières du ciment.

Création d'une nouvelle fabrique de ciment Portland en Suisse.*

par F. F. TIPPMANN



La société anonyme suisse Portland Zementwerke Hausen a installé en 1928 une nouvelle fabrique de ciment Portland à Hausen, près Brugg (canton d'Argovie), dans le Jura suisse, contrée qui offre des ressources inépuisables en matières premières se prêtant à la fabrication du ciment Portland à haute résistance. L'installation a été exécutée en totalité par une firme bien connue, la Andreas Maschinenbau, S.A.R.L.,† de Munster, en Westphalie. La cimenterie a été étudiée pour une production journalière initiale de 500 tonnes, que les dispositions prises permettront de doubler ultérieurement. La figure 2 (page 886) représente l'usine en plan et en coupe: (1) broyage préparatoire; (2) silos pour matières brutes; (3) séchoir; (4) équipement de dépoussiérage électrique; (5) broyeur pour matières premières et broyeurs pour ciment; (6) silos mélangeurs pour matières crues; (7) four vertical Andreas; (8) four rotatif Andreas; (9) broyage préparatoire; (10) silos pour matières premières; (11) séchoir; (12) silos pour ciment; (13) embranchements de la voie ferrée; (14) emballage; (15) broyeurs pour matières premières; (16) broyeurs pour ciment; (17) silos à charbon; (18) silos mélangeurs pour matières crues; (19) four vertical; (20) équipement de pulvérisation du charbon; (21) four

* Cette usine est actuellement contrôlée par le Syndicat suisse du ciment.

† MM Andreas et Co., S.A.R.L., ont fusionné récemment, en ce qui concerne le matériel de cimenterie, avec la Société Krupp Grusonwerk, à Magdebourg-Buckau.

rotatif; (22) silos pour clinker; (23) silo pour gypse; (24) trémies d'attente pour charbon et pour gypse. L'équipement comporte à la fois des fours verticaux et des fours rotatifs, dans le but de satisfaire économiquement aux variations périodiques de la demande.

Depuis que les fours verticaux Andreas (qui rendent inutile le briquetage des matières premières) sont à même, économiquement parlant, de rivaliser avec les fours rotatifs, la décision a été prise, pour un certain nombre de nouvelles usines et même certaines usines déjà anciennes, d'utiliser parallèlement les deux procédés. Les fours qui équipent la nouvelle cimenterie sont le four Andreas à rendement élevé, et le four rotatif. Les travaux ont commencé le 4 Octobre 1928, et, en dépit d'un hiver rigoureux, l'usine était en pleine production aux premiers jours d'août 1929. Les figures 1 et 3 (pages 885 et 887) représentent l'usine après achèvement des travaux, vue de la voie ferrée et vue par derrière.

Les matières premières employées sont la pierre calcaire du Jura, riche en chaux, et la marne du Jura, d'une teneur variable en chaux; la marne est extraite par couches, et transportée à l'usine par une double voie à traction par câble, passant par un tunnel; la vidange des wagonnets se fait en les renversant dans un basculeur automatique; le contenu est transporté par un convoyeur au concasseur à marteaux Andreas (fig. 4, page 888). Cette machine est capable de concasser des blocs ayant jusqu'à 1 m 50 de diamètre, et de les réduire en fragments de la grosseur d'une noisette; son débit est de 100 tonnes à l'heure, et elle est par suite à même de satisfaire en huit heures de travail aux besoins journaliers, qui sont de 800 tonnes de matières premières.

Après concassage, les matières premières sont entreposées dans trois silos, d'une capacité globale de 685 m³. La vidange des silos se fait par plateau, système Andreas (fig. 5, page 888); c'est en ce point que les services du laboratoire opèrent le réglage sommaire de la composition du mélange cru. Cet appareillage de vidange des silos permet de les disposer côte-à-côte; grâce à la hauteur constante des matières, les plateaux ont un débit très régulier, ce qui est d'une importance primordiale pour que le mélange chaux-marne conserve une composition suffisamment constante. Toute la cimenterie est équipée avec le même appareillage de vidange (entre autres les silos alimentant les broyeur à matières premières et à ciment, ainsi que les silos à charbon et à gypse); on n'a fait aucune différence à ce sujet entre les matières, qu'elles soient à l'état de fragments grossiers ou de granules.

Le mélange chaux-marne fourni par les silos à matières premières est dirigé sur le séchoir rotatif, auquel on a appliqué la construction cellulaire, système Andreas. Le séchoir, d'un excellent rendement thermique, est complété par un équipement électrique vertical Lurgi, pour la captation des poussières.

Le mélange séché arrive ensuite à la trémie d'attente du broyeur à matières premières. Cet appareil est un broyeur compound Andreas à grand débit, à trois compartiments, de 2 m 20 de diamètre et 14 m de longueur. La production horaire est de 60 tonnes de farine crue, laissant un refus de 12 à 14% sur tamis de 4900 mailles au centimètre carré, soit 74 Kg 75 par cheval-heure, chiffre que l'on peut admettre comme représentant le rendement le plus élevé réalisé par les appareils modernes de broyage. La consommation journalière de matières premières (800 tonnes) peut ainsi être couverte par un seul appareil, ne travaillant que la nuit, ce qui permet de bénéficier pour l'énergie du tarif réduit de nuit. Du reste, à l'exception des fours proprement dits, toutes les dispositions sont prises pour que tout le matériel de l'usine ne fonctionne que 8 à 12 heures sur vingt-quatre, pendant la durée où est appliqué le tarif de nuit, à bas prix. Le broyeur à matières premières et le broyeur à ciment sont

actionnés par des moteurs électriques à faible vitesse, à compensation du courant déwatté; ces moteurs, d'un fonctionnement aussi simple et aussi sûr que les moteurs à grande vitesse combinés à un réducteur, fournissent l'énergie aussi économiquement et avec le même rendement que ces derniers. La farine crue est acheminée sur les silos mélangeurs, au nombre de quatre, d'une capacité globale de 2175 m³; elle est homogénéisée par l'action d'un système à tourbillons, grâce auquel les variations de la teneur en CO²Ca n'atteignent que 0,3%.

La vidange des silos à farine crue et à ciment se fait par l'appareillage à double chaîne, système Andreas, qui permet de les construire plus simplement, et à un prix plus bas (fig. 7, page 890).

La farine crue homogénéisée est alors acheminée sur les fours; nous décrirons d'abord succinctement les fours verticaux. La première installation comporte deux fours verticaux, de 2 m 50 de diamètre et de 10 m de hauteur. La farine crue et le combustible (en l'espèce, du grésillon d'anhracite) sont pesés simultanément par une balance automatique double; le mélange est ensuite humidifié dans un malaxeur à vis, où le mélange devient plus intime, et enfourné directement par un système spécial, sans briquetage ni moulage. Le four est caractérisé par l'absence de tout collage des matières au garnissage du four; en outre, la cuisson se fait rapidement dans une zone relativement restreinte, et l'arrivée de l'air secondaire opère un refroidissement uniforme et intensif du clinker. La vidange du four se fait par une grille mécanique, équipée d'un sas à air, étanche à la poussière système Andreas. La figure 8 (page 890) représente la plateforme du bâtiment des fours verticaux, d'où se régle la cuisson.

La production journalière par four est de 140 tonnes de clinker, de la qualité normale du clinker obtenu au four rotatif, avec une consommation de combustible, en grésillon d'anhracite, de 16 à 17% du poids du clinker, soit environ 1140 calories par kilog de ciment. Le ciment obtenu avec le clinker provenant de ce four vertical (à 10-12% de refus au tamis de 4900 mailles) a été soumis à la Station Fédérale Suisse pour l'essai des matériaux aux épreuves prescrites par les Spécifications Suisses, et a donné les résultats suivants:

	Résistance à la traction Kg/cm ²	Résistance à l'écrasement Kg/cm ²
3 jours	24	750
7 jours	32 à 35	500
28 jours	45 à 50	650 à 750

Ces valeurs satisfont aux conditions très dures imposées par les Spécifications Suisses.

Une partie de la farine crue homogénéisée est dirigée sur le four rotatif Andreas, qui opère suivant le procédé sec. Le four actuellement installé (fig. 9, page 891) a 2 m 80 de diamètre et 45 miles de longueur, et est actionné par un moteur électrique.

Le four est d'une conception simple; il est constitué par un tube ayant la même section sur toute sa longueur, autrement dit il ne comporte pas de zone élargie. Les gaz brûlés étant employés au chauffage préliminaire et à la calcination des matières, on a prévu qu'à la sortie du four leur température serait de 160 à 170°. On a installé un refroidisseur rapide Andreas, qui n'occupe qu'une très faible surface, et récupère la chaleur du clinker sous forme d'air chaud; il fonctionne comme réchauffeur pour l'air destiné au four. La production journalière du four est de 220 à 240 tonnes, la consommation de combustible étant de 16 à 17% du poids du clinker produit, ce qui équivaut à 1065 à 1100

calories par kilog de clinker. L'installation comporte trois silos en tôle d'acier, d'une capacité de plus de 2300 m³, pour la conservation du clinker.

Les broyeurs à ciment, au nombre de deux, sont des broyeurs compound Andreas, à trois compartiments, ayant les mêmes dimensions que le broyeur à matières premières; chacun d'eux produit de 30 à 32 tonnes de poudre à l'heure, ce qui représente approximativement 40 Kg de clinker par cheval-heure; chaque broyeur est pourvu d'un équipement spécial de captation de poussières.

Le ciment moulu est conservé dans une batterie de cinq silos, d'une capacité globale de 2585 m³; la vidange de ces derniers se fait au moyen d'un système à chaîne. L'atelier d'ensachage comporte deux ensacheuses Andreas, pour sacs à clapets, à quatre bouches, ayant une production horaire globale de 1600 à 1800 sacs; la production journalière de l'usine peut être manutentionnée sans hâte en huit heures. Les ensacheuses ont été décrites dans le numéro d'Avril 1930 de la présente publication.

A leur arrivée, le charbon et le gypse sont déchargés dans des trémies d'attente, situées entre les embranchements de la voie ferrée; après concassage préparatoire du gypse, ils sont acheminés respectivement sur les quatre silos à charbons (capacité environ 1520 m³) et sur le silo à gypse (capacité 150 m³); ces silos sont tous équipés d'un dispositif de vidange à plateau. Pour le four vertical, le charbon est consommé tel qu'il est fourni; pour le four rotatif, il est séché dans un séchoir rotatif, et pulvérisé dans un broyeur compound Andreas, du modèle spécial pour la pulvérisation du charbon.

Vu le projet de doubler ultérieurement la production, on a incorporé, à la première tranche des travaux, les fondations complètes d'un deuxième concasseur à marteaux, d'un séchoir, d'un broyeur à matières premières, de deux fours verticaux, d'un four rotatif, d'un broyeur à ciment. L'usine reçoit le courant à 20 000 volts du réseau de distribution qui couvre le pays; le courant est abaissé à 500 volts à l'usine même. Un personnel de 18 hommes suffit pour assurer la marche de l'usine. L'équipement électrique a été fourni par les firmes suisses Brown-Boveri, de Baden, Oerlikon, et par la Câblerie de Brugg.

Au sujet des annonces.

TOUTES les demandes de renseignements concernant les annonces dans " International Cement et Cement Manufacture " doivent être adressées à Concrete Publications Limited, 20 Dartmouth Street, London, S.W.1, England.

Le texte de l'annonce doit parvenir à cet office au plus tard le 25 du mois précédant celui de la parution. Dans le cas où un nouveau texte ne serait pas parvenu à cette date, les éditeurs se réservent le droit de reproduire le texte précédent.

Dans le cas d'annonces devant être imprimées en plus d'une seule langue, on doit fournir soi-même les traductions. Si on le désire, les éditeurs se chargent de ce travail de traduction, mais il est entendu qu'ils ne pourraient assumer aucune responsabilité en ce qui concerne l'exactitude de la traduction.

La prise et le durcissement du ciment Portland.

Par A. C. DAVIS.

DIRECTEUR ADMINISTRATEUR DES USINES DES ASSOCIATED PORTLAND CEMENT MANUFACTURERS, LTD.

On n'est pas encore parvenu, ni à expliquer parfaitement la prise du ciment, ni à isoler complètement les substances complexes qui le constituent; aussi longtemps que ces substances ne feront pas l'objet d'une connaissance détaillée, toute discussion sur la prise ne pourra être fondée que sur des hypothèses. De nombreux travaux ont été publiés ces dernières années sur cette question, et il en résulterait que le phénomène de la prise doit être rattaché, soit au processus de la cristallisation, soit à une action colloïdale, soit à ces deux causes à la fois.

Selon ces deux doctrines, les principales qui aient été formulées à ce jour, l'adhésion et la cohésion manifestées par le ciment après sa prise seraient des qualités dues en grande partie à la présence de substances à faible teneur en chaux; il n'est par contre pas admis, d'une façon aussi générale, que l'hydrolyse soit assez prononcée pour qu'il se forme de l'hydrate de silice, car on obtiendrait en même temps de l'hydrate de chaux, et, comme les réactions ont lieu avec une grande rapidité, ces deux substances ne peuvent exister conjointement. Thomas Edison m'a exposé, il y a un certain temps, qu'il était un partisan convaincu de la théorie colloïdale de la prise, tandis que Le Chatelier, l'éminent chimiste français, s'est toujours montré l'adversaire de la théorie qui attribue le durcissement du ciment à certaines propriétés colloïdales qu'il possède. D'autres savants ont émis des opinions définitives et contradictoires. Dans son ouvrage sur l'analyse microscopique de la constitution du ciment Portland, dont la publication remonte à 1887, Le Chatelier exposait que, d'après lui, les constituants principaux du ciment Portland sont des cristaux cubiques incolores à double réfraction, entre lesquels on trouve une substance plus foncée, de structure biréfringente, mais non cristalline; ce savant trouvait en outre (a) des cristaux légèrement jaunâtres, opaques, présentant une certaine striation; (b) de très petits cristaux, à double réfraction assez prononcée; et (c) des régions, formées d'une matière sans action sur la lumière polarisée.

Le Chatelier rappelait, en outre, qu'étant à la recherche d'une définition précise du mot "colloïde," Graham, auquel nous sommes redevable de la découverte des substances ainsi nommées, a constaté qu'une substance pouvait se trouver à l'état dissous sous deux formes différentes, les cristalloïdes entrant en solution en se diffusant; et les colloïdes non. La première liqueur donne par évaporation des corps cristallins, appelés cristalloïdes (sel marin, sucre, etc.), et les autres donnent des substances amorphes (silice gélatineuse, gomme, etc.).

A l'aide de l'ultramicroscope, Zsigmondy a montré que les solutions colloïdales n'étaient pas de vraies solutions, mais qu'elles étaient constituées par des matières insolubles très finement divisées, en état de suspension. Les liquides tenant ainsi les matières en suspension sont opaques, laiteux, ou transparents, suivant la finesse et l'abondance plus ou moins grande des matières en cet état. Quand leur diamètre est inférieur à la longueur d'onde de la lumière, cette dernière peut poursuivre son chemin, un peu comme le son lorsqu'il rencontre un obstacle d'étendue limitée. Le diamètre des colloïdes est voisin du millionième de millimètre il est toujours, et dans tous les cas, de beaucoup inférieur au millième de millimètre.

Cet état de suspension peut être pris par toutes les matières insolubles, de dimensions infimes, comme par exemple, les métaux tels que le platine et l'argent, lorsqu'on les pulvérise à l'arc électrique, le quartz finement écrasé, l'alumine, le kaolin, et d'autres minéraux, les précipités chimiques complètement insolubles comme les sulfures (notamment le sulfure de nickel) et, enfin, le tannate de fer, utilisé dans la fabrication de l'encre.

Ces matières de dimension infime possèdent une propriété particulièrement importante, qui permet de les classer en différentes catégories; cette propriété est l'adsorption des substances solubles que contient le liquide qui les mouille. Cette adsorption, qui est une cause d'erreurs dans les analyses, est fréquente avec les précipités chimiques, mais ne constitue pas un phénomène caractérisant l'état de fine division des matières, car il se manifeste également avec les matières poreuses; à ce point de vue, les colloïdes et les matières poreuses peuvent être classés ensemble. Le pouvoir adsorbant est un cas particulier d'une propriété bien plus générale que possèdent toutes les substances finement divisées. Chimiquement, une matière sous forme de poudre impalpable se comporte d'une manière tout à fait autre que la même matière, sous forme de gros fragments. Il y a une chimie spéciale des colloïdes et des matières poreuses, et les propriétés particulières dont il est question sont sous la dépendance immédiate de la tension superficielle.

Il a été reconnu depuis longtemps que tous les phénomènes chimiques dépendent des diverses formes de l'énergie, chaleur, électricité, travail; les combustibles, par leurs réactions chimiques, libèrent de la chaleur, les batteries d'accumulateurs engendrent de même de l'électricité, et les explosifs, du travail.

L'énergie superficielle est mesurée par le produit de la tension superficielle (ou tension capillaire) par la surface libre d'une substance; elle est généralement infiniment faible, si on la compare avec l'énergie sous ses autres formes. Admettons que la molécule-gramme de l'eau (18 grammes) ait la forme d'une sphère de 3 cm de diamètre. Au contact de sa vapeur d'eau, la tension superficielle de la sphère est de 0,08 grammes par centimètre linéaire. La surface de la sphère étant de 34 cm^2 , son énergie superficielle est le $0,08 \times 34 = 2,72$ grammes-centimètre, soit $2,72 \times 10^{-5} \text{ kgm}$, ce qui correspond à $6,3 \times 10^{-8}$ kg/calorie. D'autre part, la vaporisation de la molécule-gramme absorbe 10 calories, et sa combinaison avec la chaux dégage 10 calories. Son énergie superficielle est, par suite, équivalente à la millionième partie seulement de la quantité de chaleur ci-dessus; on peut donc dire qu'elle est négligeable. Au lieu de former une sphère unique, si l'eau était répartie entre un grand nombre de petits globules, d'un millionième de millimètre chacun, leur surface globale, et par suite leur énergie superficielle totale, deviendrait 330 millions de fois plus considérable, et par suite équivalente à 2 calories; autrement dit, cette énergie superficielle est du même ordre de grandeur que la chaleur dégagée par l'eau, lorsqu'elle participe à une réaction chimique. Dans ce cas, l'énergie capillaire constitue un facteur, nullement négligeable.

En ce qui concerne les solides en suspension dans un liquide, il n'existe aucune méthode directe pour mesurer la tension superficielle, au contact du solide et du liquide. Par des considérations indirectes, on est amené à croire que cette tension est susceptible de devenir cent fois plus grande que dans le cas de l'eau. L'énergie superficielle augmenterait dans le même rapport, et son action devient appréciable pour des dimensions de l'ordre d'un dix millième de millimètre, dimensions bien supérieures à celles des précipités chimiques.

Les considérations qui précèdent ne concernent que le grain lui-même, sans tenir compte de la solubilité plus ou moins grande des matières en question; elles ne fournissent aucune explication immédiate de l'insolubilité habituelle des

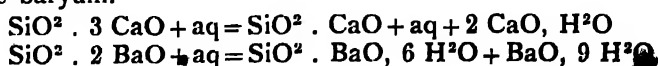
colloïdes. Un cristal de matière solide, moulu en grains très fins, aura certainement les mêmes propriétés que les colloïdes, aussi longtemps qu'il reste dans cet état de finesse, mais il les perd rapidement dès qu'il est mis au contact d'un liquide capable de dissoudre partiellement cette substance. L'énergie de dissolution bénéficiera de la totalité de l'énergie superficielle du cristal, et on obtiendra une solution sursaturée, aux dépens de laquelle se formeront rapidement des cristaux plus grands. Ce phénomène se vérifie très nettement pour le sulfate de calcium et le sulfate de baryum, précipités à l'état de très fine division. Pour augmenter la dimension des grains, et les empêcher de traverser les filtres, on chauffe ces précipités pendant plusieurs heures avant de les filtrer.

Tout corps soluble, même s'il est à l'état de très fine division, perd progressivement ses propriétés colloïdales, s'il reste au contact d'un liquide dans lequel il est tant soit peu soluble; plus la solubilité est grande, plus la transformation est rapide. Seuls les corps insolubles peuvent par suite rester subdivisés jusqu'à l'extrême limite, à l'état qui correspond à l'état colloïdal. C'est pour la même raison que les substances auxquelles s'applique vraiment le mot colloïde ne prennent jamais une forme cristalline identifiable, parce que l'orientation cristalline suppose une certaine mobilité de la matière au sein du solvant, qu'il soit liquide ou gazeux.

Pour examiner si les produits que donnent par durcissement les mortiers hydrauliques sont colloïdaux ou non, il est intéressant de considérer le cas du plâtre. Quand le plâtre a fait prise, il n'est pas possible d'identifier des cristaux dans la matière, si fort que soit le grossissement du microscope. Cela ne prouve pas qu'il ne se soit pas formé de cristaux; peut-être sont-ils trop petits pour être discernés. Dans les lames pétrographiques minces de moins de 0,02 mm d'épaisseur, il est possible de discerner les cristaux d'un diamètre inférieur à 0,005 mm. En écrasant le masse molle sous son couvercle en verre, on ne parvient pas à la ramener au dessous de 0,0005 mm, ce qui est encore loin des dimensions colloïdales. Quand on abandonne à lui-même du plâtre hydraté humide, les cristaux commencent à devenir perceptibles au bout de plusieurs semaines; après plusieurs années, ils deviennent quelquefois visibles à l'oeil nu. Dans le plâtre durcissant, les cristaux deviennent d'ailleurs visibles dès le début si le plâtre est gâché à l'eau alcoolisée, au lieu de l'être à l'eau pure; cet artifice, en retardant la prise, permet aux cristaux de mieux se développer.

Les aluminates de calcium, dont le rôle dans le durcissement rapide du ciment est important, s'hydratent à la même allure que le plâtre; dans la masse blanchâtre qu'ils forment, on n'arrive pas à discerner de cristaux. Au lieu de gâcher l'aluminate avec un peu d'eau, si on en plonge quelques grains isolément dans un grand volume d'eau, ces grains s'entourent rapidement de cristaux d'aluminate hydraté, de forme allongée, qui sont toujours aisément visibles au microscope, et peuvent quelquefois être visibles, sans le secours d'instruments d'optique.

Seul le silicate de calcium est une source de difficultés au point de vue considéré, et son rôle est important, car ce silicate est un élément essentiel dans la dernière période du durcissement du ciment Portland. Au microscope, il est impossible d'identifier le silicate de calcium hydraté; les cristaux qu'il forme sont certainement de dimension infime, mais par raison d'analogie, on ne peut nier leur existence. L'hydratation se déroule exactement comme dans le cas du silicate de baryum.



De même que les cristaux de baryte hydratée, ceux de chaux hydratée sont nettement visibles, car leurs dimensions sont de plusieurs millimètres. A l'aide d'une loupe, on arrive toujours à voir les cristaux de silicate de baryum, et quelquefois même à l'œil nu. On peut admettre par analogie que le silicate de calcium hydrate cristallise dans d'aussi bonnes conditions, mais, comme il est bien moins soluble que les dérivés du baryum, ses cristaux seront de dimension trop infime pour être discernables.

Il n'est pas impossible qu'au début, les dimensions de ces cristaux soient d'ordre colloïdal, comme les précipités de sulfate de baryum et d'oxalate de calcium, au moment de leur formation. Il est effectivement démontré qu'au moment de sa formation, le précipité de silicate de baryum absorbe une certaine quantité de chaux, dont le montant varie avec la concentration du liquide. Avec le temps, il est inévitable que les cristaux voient leurs dimensions augmenter considérablement, comme dans tous les cas analogues. D'autre part, la résistance mécanique ne diminue pas avec le temps; sans nier la possibilité d'un état colloïdal initial, il s'ensuit, comme on le soutient, que cet état n'a rien à voir avec le durcissement du ciment.

Il semble que rien ne vienne encore réfuter la théorie du durcissement du ciment Portland, proposée par Le Chatelier il y a de nombreuses années, et qui est la suivante: Les substances anhydres que contient le ciment, au contact de l'eau, ne se trouvent pas en équilibre chimique; elles sont plus solubles que les mêmes substances, à l'état hydraté. C'est la raison de la formation d'une solution sursaturée, aux dépens de laquelle les substances hydratées peuvent cristalliser rapidement. Le liquide ne reste donc pas saturé, et peut dissoudre une nouvelle fraction des matières anhydres; la masse totale peut ainsi cristalliser, en passant par une phase transitoire de dissolution dans un volume d'eau limité, volume qui, à un moment donné, se trouverait incapable de tenir en solution plus qu'une faible partie de la masse totale des sels présents.

Les cristaux qui se déposent au sein de ces solutions sursaturées apparaissent toujours sous forme d'aiguilles extrêmement allongées, ayant tendance à se grouper en sphérolites autour de certains centres de cristallisation. La solidité de la masse a pour cause unique l'enchevêtrement de tous ces cristaux; ces cristaux se soudent l'un à l'autre quand leur orientation réciproque s'y prête; ils adhèrent par simple contact, comme le font tous les corps solides lorsqu'ils reposent effectivement l'un sur l'autre.

A défaut d'adhérence, le frottement aux points de contact suffirait en fin de compte pour produire une grande résistance mécanique, comme c'est le fait des toiles et des tissus, dont la solidité n'a pas d'autre origine. Plus les cristaux sont fins et allongés, plus les points de contact sont nombreux, et plus est grande la résistance, due au frottement; plus la surface de contact est grande, plus l'adhérence est grande. L'augmentation progressive des dimensions des cristaux augmente le rôle de l'adhérence, et diminue celui du frottement.

Délaissant ces considérations théoriques sur le mécanisme de la prise, nous nous proposons de discuter maintenant quelques points pratiques, d'une importance plus grande pour le fabricant de ciment. Le ciment, après sa prise, contient de la chaux hydratée, et, ainsi qu'il a été exposé, si cette chaux hydratée est inerte, nous nous trouvons en présence de cette situation anormale, que pour assurer à leurs produits la résistance voulue, les fabricants de ciment sont appelés à leur incorporer la quantité de chaux maximum, compatible avec l'invariabilité de volume, alors que le béton obtenu ensuite n'exige nullement que la chaux s'y trouve dans une proportion donnée.

Pour avoir une teneur en chaux aussi grande que le permet l'obtention d'un ciment stable et de volume invariable, les fabricants de ciment font subir à

leur matière une mouture très fine, ce qui entraîne des frais élevés par ailleurs, les mélanges riches en chaux se scorifient à une température élevée, qui rend leur cuisson onéreuse. On voit l'anomalie : le fabricant de ciment se trouve en présence d'un produit auquel se trouve incorporé, dans une proportion dépassant les besoins, un constituant qui majore les frais de fabrication, et qui, en fin de compte, ne constitue dans le ciment qu'une charge. La production de ciments à basse teneur en chaux a par suite attiré l'attention de nombreux chercheurs, mais comme, pour leurs expériences, ils partaient en général du laitier de haut-fourneau, contenant du soufre à l'état de sulfure, ces ciments pauvres en chaux ont été accueillis défavorablement en raison de leur teneur en soufre, dont la présence inspirait des craintes sérieuses. Les matières premières ordinaires, craie, pierre calcaire, argile et schiste, peuvent bien être utilisées pour la production de ciments à basse teneur en chaux, mais les résultats obtenus à ce jour n'ont pas donné satisfaction.

Les savants qui ont consacré beaucoup de temps et de travail à ces questions, soutiennent que les constituants majeurs du ciment Portland sont le silicate tricalcique, le silicate dicalcique, et l'aluminate tricalcique. Parmi ces constituants, le silicate tricalcique est la substance à laquelle, dans les délais acceptables, il faut attribuer le durcissement, et la majeure partie de la résistance; c'est également celle qui se forme le plus difficilement, et un ciment Portland moyen n'en contient qu'environ 30 à 35%. On est ainsi amené à penser que la formation de cette substance constitue le problème essentiel de la fabrication du ciment Portland, et que toute amélioration du processus de la fabrication, se traduisant par une augmentation de la proportion de silicate tricalcique, augmenterait en fin de compte le pouvoir cimentant du ciment Portland.

Si ces considérations priment toutes autres en ce qui concerne le ciment Portland, l'expérience, acquise avec les ciments alumineux récemment mis sur le marché, montre que le silicate tricalcique ne joue pas un rôle essentiel dans cette matière, qui est susceptible de donner des résultats analogues au ciment Portland. Comme on le sait, les ciments alumineux consistent principalement en chaux et en alumine, en proportion approximativement égale, plus de petites quantités de chaux, et autres substances que l'on trouve dans le ciment Portland. Le début et la fin de la prise ont lieu dans les mêmes délais que pour le ciment Portland, et d'une manière semblable, mais le durcissement subséquent se fait plus rapidement, et avec un plus grand dégagement de chaleur. Ce calorique peut éventuellement créer des difficultés, et, pour le moment, la durabilité des ciments alumineux dans les différentes conditions qui se rencontrent dans la pratique reste encore à prouver.

Dès les premiers temps de l'industrie du ciment, on avait déjà l'habitude de régler le temps de prise du ciment Portland au moment même de sa fabrication, par l'addition de sulfate de calcium, généralement sous forme de pierre à plâtre brute, incorporée lors de la mouture du clinker. Avec du clinker bien cuit obtenu au four rotatif, en vue d'avoir un ciment réellement à prise lente, il peut être indispensable d'ajouter jusqu'à 4% de gypse brut; ce chiffre dépend du reste en partie des matières premières, du degré de cuisson, et de la pureté du gypse utilisé. Il ne faut pas oublier que l'addition de gypse augmente la teneur en anhydride sulfurique (SO^3) qui ressort de l'analyse du ciment, et que les cahiers des charges comportent toujours une clause, précisant pour cette substance la limite admissible; les Normes anglaises fixent cette limite à 2,75%. A l'heure actuelle, le rôle du gypse n'est encore qu'imparfaitement élucidé, et, pour l'apprécier exactement, il faut attendre que nos connaissances sur le mécanisme de la prise du ciment soient plus complètes. Pour montrer jusqu'à quel point le phénomène de la prise est obscur, mentionnons que

l'addition d'une quantité de gypse suffisante pour porter la teneur en SO_3 du ciment à 1,2%, par exemple, peut n'avoir aucune action visible sur la prise, qui demeure instantanée; il suffit d'augmenter légèrement cette teneur en SO_3 , jusqu'à 1,3% en certains cas, pour obtenir une prise lente, sans que cette prise soit de nouveau retardée dans une mesure appréciable par le gypse que l'on pourrait ajouter en plus.

Pendant la deuxième moitié du dix-neuvième siècle, il était de pratique courante d'épandre le ciment avant emploi, pour l'"aérer"; cette pratique avait pour objet, en premier lieu, d'améliorer la stabilité et l'invariabilité de volume du ciment, par l'extinction de la chaux libre qu'il contenait, les réactions étant incomplètes dans les fours employés alors. Cette opération avait en outre une répercussion importante sur le temps de prise du ciment, par suite de l'absorption de l'humidité atmosphérique; c'est le même principe qu'appliquait le fabricant, quand il avait recours à l'injection de vapeur d'eau dans les broyeurs pendant la mouture du clinker, ou qu'il exposait le clinker aux intempéries avant mouture, ou qu'il arrosait le clinker chaud au moment de sa sortie du four. Il était indispensable d'appliquer ces méthodes pour ralentir la prise, lorsque l'on constatait que l'addition de gypse était partiellement inefficace, mais il est impossible de certifier qu'elles donnent toujours des résultats satisfaisants. Après cuisson, à l'état de plâtre de Paris, le gypse agit souvent d'une manière plus efficace, que brut.

Le ciment de four rotatif est nettement caractérisé par sa prise rapide, et il est indispensable de régler par ces divers procédés son temps de prise, pour que le ciment ait les propriétés que l'on demande au produit marchand. D'une façon générale, un ciment marchand, pétri uniquement à l'eau, doit demeurer en l'état pendant une demi-heure au moins, délai après lequel il est d'une qualité d'autant meilleure que sa prise est plus rapide.

L'addition de gypse figure pratiquement dans toutes les spécifications normales, en raison des ennuis excessifs que donnerait au chantier un ciment dont le temps de prise varierait de quelques minutes à plusieurs heures; en incorporant du gypse pendant que le ciment subit les opérations de mouture, on obtient un produit avec lequel on est assuré d'avoir une prise lente et régulière pour toutes les fournitures. Le gypse que l'on ajoute ainsi ne nuit ni à la résistance, ni à la qualité du ciment.

En vue de régulariser la prise du ciment, il y a avantage à arroser ou à mouiller le clinker s'il est bien cuit, car le ciment devient ainsi généralement à prise lente, et, en combinant l'hydratation avec l'emploi du gypse, on arrive à régler approximativement à une valeur quelconque le temps de prise qu'aura le ciment à l'issue de sa fabrication. Il ne faut cependant pas en arriver à exprimer avec trop de précision le temps de prise en heures et en minutes; pour la classification, on est bien obligé de donner un temps de prise, mais il ne faut pas attacher trop de valeur à des différences de quelques minutes, que font ressortir les méthodes d'essai habituelles, appliquées à la pâte de ciment pure; il suffit généralement d'une classification plus large, exprimant la nature du ciment, car il suffit de savoir si le ciment est prompt ou lent. Il arrive que certains ciments fassent prise lentement lorsqu'ils sont fraîchement moulus, et qu'ils se convertissent en ciments prompts à la conservation, propriété qu'ils peuvent conserver, à moins que, par la suite, ils ne redeviennent à prise lente; il s'agit probablement alors d'un phénomène, dans lequel intervient le gypse incorporé. Ce dernier étant soluble retarde la prise du ciment, mais lorsque le sulfate de calcium entre en combinaison avec l'aluminate de calcium, l'action retardatrice du gypse se trouve suspendue, et le ciment devient à prise rapide pour un certain temps.

Ces temps derniers, on a quelquefois observé sur le ciment un phénomène, qualifié de "prise initiale apparente." La pâte de ciment pure ayant été

gâchée comme il est prescrit pour les épreuves, on voit la galette perdre son humidité superficielle, et, très peu après le gâchage, prendre un aspect terne et dur, qui coïncide avec sa prise initiale. La pâte peut durcir suffisamment pour empêcher l'aiguille de pénétrer entièrement dans la galette; le ciment reste en cet état pendant un temps appréciable, et il s'écoule un intervalle assez long avant que l'on constate la prise finale, phénomène qui se déroule normalement. Si on gâche à nouveau la galette alors qu'elle est l'objet d'une "prise initiale apparente," ce phénomène ne se reproduit plus, et la galette fait sa prise initiale et sa prise finale de la manière normale. On croit que ce phénomène peut s'expliquer par l'action du gypse employé pour ralentir la prise, qui a été converti en plâtre par la température élevée, due au frottement, qui se manifeste dans le broyeur.

Lorsqu'il a été conservé quelque temps, si un ciment à prise rapide, ou redevenu rapide, reprend ses propriétés de ciment à prise lente, on impute généralement ce phénomène à l'hydratation de l'aluminate de calcium qu'il contient. Or, quand un ciment fait prise rapidement, on attribue quelquefois le fait à ce qu'il n'a pas été conservé, et on le qualifie de "chaud" ou de "frais." Il est indubitable que ces termes tendent à induire en erreur le consommateur moyen de ciment; le ciment fraîchement moulu est chaud, mais il n'est pas nécessairement prompt, et le ciment prompt n'est pas nécessairement fraîchement moulu. Tous les ciments sont chauds lorsqu'ils sont fraîchement moulus, en raison de la chaleur, due au frottement, dégagée pendant les opérations de mouture, mais s'il a été fabriqué suivant les règles de l'art et que sa prise ait été réglée, il ne sera pas prompt.

Pour satisfaire des demandes urgentes et importantes de ciment Portland, les fabricants sont quelquefois obligés d'expédier le ciment, directement des broyeurs au chantier. A son arrivée, le ciment a, dans ce cas, une température appréciable, et des doutes se sont élevés pour savoir si le ciment pouvait être employé en cet état. Le renseignement lui ayant été demandé à plusieurs reprises, la Station de recherches du Department of Scientific and Industrial Research a procédé à des épreuves pour obtenir des données certaines; le compte-rendu montre que ces ciments peuvent être utilisés en toute sécurité, sans délai.

Comme il a déjà été dit, la chaleur dont il est question provient, non du four, mais du frottement auquel donne lieu la mouture. Dans une cimenterie, on a prélevé des échantillons immédiatement après que le ciment eût quitté le broyeur, à la température de 140° . Les premiers essais ont été conduits au laboratoire même de l'usine, sur le ciment vieux d'une demi-heure, alors qu'il était encore à la température de 122° ; en utilisant des récipients exécutés spécialement, et des flacons de Dewar, on a prélevé à l'usine d'autres échantillons qui ont été transportés à la Station de Recherches sans perte de chaleur notable, et les essais faits à l'usine ont été recommencés à divers intervalles, à mesure que le ciment refroidissait. Dans une série d'essais, le ciment pur était gâché avec la quantité d'eau juste nécessaire pour lui donner une consistance déterminée, et il fallait davantage d'eau pour obtenir cette consistance lorsque le ciment était chaud. Comme on pouvait s'y attendre, le ciment chaud faisait prise un peu plus rapidement que le ciment froid, à cause de l'action accélérante de la chaleur, mais de 122 à 15° , la différence n'était que d'une demi-heure, comptée sur la fin de la prise, et elle est considérée comme étant de faible importance.

Après les épreuves au laboratoire, on a construit une section de route en béton, en un point où le revêtement est soumis à un gros trafic. La section avait une surface d'environ $6,5 \text{ m}^2$, l'épaisseur de revêtement étant de 19 cm . La couche inférieure, de $12,5 \text{ cm}$ d'épaisseur, était constituée par un mélange de 1,5 partie de ciment Portland, 2,5 parties de gravier, 2 parties de briques

pillées; le béton avait une consistance ferme. La couche superficielle, de 6,5 cm d'épaisseur, était constituée par un mélange de 1 partie de ciment Portland, 1 partie de galets concassés, avec la quantité d'eau nécessaire pour obtenir la consistance voulue. Au moment où l'on ajoutait le ciment au mélange, sa température était de 115°.

On a livré ce revêtement à la circulation au bout de deux jours, le béton ayant été tenu humide pendant ce laps de temps. Après onze semaines de trafic intense, on a examiné le béton, et on n'a constaté, ni fissures, ni signes de désagréation; la surface était en excellente condition. En préparant un mortier au sable, à partir de ciment à 122° avant incorporation (température qui descendait à 30° une fois le mélange fait), la résistance moyenne à la traction au 28ème jour était de 29,5 Kg/cm², contre 36 Kg/cm² quand la température du ciment et du mortier au moment de l'agitation du mélange était de 15°. Avec le béton, la différence était toutefois plus faible; lors des essais faits avec du ciment à 30° avant incorporation au mélange, on a trouvé une résistance plus grande que quand la température était plus basse, mais la différence n'était que peu de chose. Selon le Building Research Board, les résultats de ces investigations montrent qu'il n'y a lieu d'apporter aucune restriction à l'emploi du ciment chaud, quand les circonstances exigent son utilisation immédiate; cette conclusion confirme celles déjà formulées à la suite d'autres travaux sur ce sujet.

Depuis que, ces dernières années, on a mis sur le marché du ciment Portland à durcissement rapide, il se produit souvent une confusion dans l'esprit de la clientèle, lorsqu'il s'agit de distinguer la "prise" rapide du "durcissement" rapide. Pour le ciment, la prise initiale, la prise finale, et le durcissement, sont des phases successives du processus chimique qui commence au moment où l'on ajoute l'eau au ciment en poudre. La première phase, la prise initiale, a trait à la période antérieure au début de la coagulation; elle provient de la décomposition et du regroupement des constituants, dus à l'action de l'eau. Elle est suivie de la prise finale, que l'on apprécie en appliquant une pression superficielle, avec une "aiguille"; la prise finale est généralement considérée comme complète, quand l'aiguille ne laisse qu'une légère empreinte.

Selon le ciment, la prise peut durer, soit quelques minutes (prise rapide), soit plusieurs heures (prise lente). Le durcissement se poursuit par ailleurs d'une façon ininterrompue, et, lorsque la fin du temps de prise a été constatée, des modifications chimiques continuent à se produire, et la pâte durcie voit sa résistance augmenter progressivement. Cette période est celle du "durcissement," et il est évident qu'un ciment à "durcissement rapide" est un ciment qui manifeste rapidement sa résistance et sa dureté.

Il s'ensuit que deux ciments, l'un ordinaire, l'autre à durcissement rapide, peuvent avoir le même temps de "prise," mais le deuxième aura une bien plus grande résistance après 24 ou 48 heures. L'hydratation de ces ciments a été étudiée par F. O. Anderegg et D. S. Hubbell dans les compte-rendus de la Société américaine pour l'Essai des matériaux; il résulte du travail de ces savants que les particules de ciment Portland, dont les dimensions primitives sont de 15 à 25 microns, s'hydratent à peu près complètement en neuf mois, et la réaction est pratiquement complète en douze mois. Pour un ciment à haute résistance prompte, le degré d'hydratation du même ordre semble devoir être atteint en cinq mois. L'alumine tricalcique s'hydrate très rapidement, les particules d'un diamètre voisin de 25 microns s'hydratent à peu près aux trois quarts en trois heures. Les particules de silicate tricalcique de la même dimension nécessitent environ sept jours pour que leur hydratation soit du même ordre; pour le silicate dicalcique, le délai est d'environ cinq mois et demi.

La captation des poussières dans l'industrie du ciment.

A TORT ou à raison, l'opinion publique rend les stations d'énergie et certaines industries responsables des poussières qui polluent l'atmosphère, et il s'ensuit que l'on attache une importance de plus en plus grande à empêcher, dans la mesure du possible, ces établissements d'émettre des poussières. La fabrication du ciment pose aux industriels et aux techniciens spécialistes de la captation des poussières de nombreux problèmes, à étudier en collaboration, à leur bénéfice mutuel; ceux ayant la portée la plus générale concernent les cheminées, les broyeurs, les machines d'ensachage, dont il s'agit d'empêcher les poussières de se répandre. Nous croyons par suite intéressant de signaler, à titre d'exemple, ce qui a été fait en ce sens par MM. Davidson & Co., de Belfast; cette firme a déjà fourni en Angleterre, et ailleurs, plus de cinq cents équipements de captation de poussières, pour les chaufferies des stations d'énergie et des établissements industriels; ces équipements récupèrent par an sur les gaz brûlés environ 150 000 tonnes de poussières, soit de 70 à 95% de la quantité globale de matières solides en suspension dans les gaz. On trouve, en outre, plus de quatre cents de ces équipements en service dans diverses industries, pour la récupération des poussières en général; ces industries comprennent les cimenteries, les ateliers pour le travail des pierres, et ceux de préparation du béton d'asphalte.

Ces équipements brevetés pour la captation des poussières sont basés sur le principe de la force centrifuge, renforcée par l'action de la gravité. Selon l'application envisagée, on adopte pour l'appareil l'une des trois dispositions suivantes: le type Direct, intercalé sur la conduite des gaz brûlés, le type Shunt à surpression, et le type Shunt à dépression, ces deux derniers en dérivation sur la conduite principale. Le séparateur Direct comporte un corps horizontal principal, en forme de volute, accolé à la cheminée, dans lequel débouche la conduite qui vient des chaudières, et qui reçoit tangentiellement la totalité des gaz brûlés chargés de poussières, sous l'action du seul ventilateur de tirage induit. Les gaz tournent en rond à grande vitesse, et les poussières lourdes sont projetées à la périphérie par la force centrifuge; en raison de la forme en volute, cette action séparatrice s'accroît, à mesure que le rayon de l'enveloppe diminue. Les gaz dépoussiérés s'échappent par la partie supérieure du corps horizontal, et rejoignent la cheminée par une conduite; le fond du corps horizontal forme cône de décharge de grand diamètre, prolongé vers le bas par une conduite également conique, assez longue, qui débouche dans une chambre à poussières fermée. Les particules de poussière sont soumises ainsi à l'action de la gravité, que facilite la forme conique du fond de l'enveloppe, et comme les matières sont continuellement sollicitées aussi bien dans la direction descendante que vers la périphérie de l'enveloppe, il arrive souvent que les particules les plus légères et les plus fines participent en grand nombre à plusieurs reprises au mouvement tournant qui se produit dans la spirale.

Les séparateurs Shunt à surpression et à dépression, dont le premier est branché sur le refoulement du ventilateur, et le second sur l'aspiration, sont des séparateurs Direct modifiés, dans lesquels ne passe qu'une fraction des gaz provenant de la chaudière. En d'autres termes, la séparation centrifuge se fait en deux étages: le premier est constitué par le séparateur primaire, en forme de volute, qui entoure la cheminée, ou qui est monté à côté, si cette

disposition est plus avantageuse, et le second par le séparateur secondaire, qui est un séparateur Direct de petites dimensions, et ne reçoit que les veines périphériques du flux gazeux, contenant pratiquement la totalité des poussières, après avoir quitté tangentiellement le séparateur primaire par une fente verticale de son enveloppe. Dans ce séparateur secondaire, construit comme le séparateur primaire mais avec des dimensions plus petites, on récupère, comme il vient d'être dit, la totalité des poussières, et les gaz dépoussiérés sont évacués par la cheminée, comme ceux d'un séparateur primaire.

Ces séparateurs présentent cet avantage important que les gaz n'y subissent aucune diminution de température, et qu'ils fonctionnent sans jets d'eau pulvérisée, ce qui supprime toute pluie nuisible, chargée d'acide, aux alentours de la cheminée ou des orifices d'évacuation des gaz brûlés, avec les inconvénients qu'elle comporte.

A titre d'exemple d'installations faites par la firme indiquée, mentionnons les séparateurs de poussières " Sirocco " du type Shunt à surpression, qui équipent une cimenterie bien connue comportant deux fours rotatifs de 60 m de longueur et de 2 m 75 de diamètre, fonctionnant suivant le procédé sec. Chaque four est équipé d'un ventilateur de tirage induit " Sirocco " de 2 m 230 de diamètre, d'un débit de 2000 m³/mn contre 57 mm de colonne d'eau à une température de 400°; ce ventilateur est directement accouplé à un moteur à vitesse variable de 75 ch. Les conditions générales de marche sont approximativement de 7 Kg de gaz chauds pour 1 Kg de clinker, la production maximum du four étant de 8,5 tonnes de clinker à l'heure; le volume mesuré des gaz chauds dépasse de peu 1900 m³, et il est fabriqué 3000 tonnes de ciment par semaine.

Les deux fours sont équipés chacun d'une cheminée de 23 m de hauteur, ainsi que d'un séparateur Shunt à surpression; les cheminées ont 2 m 60 de diamètre, avec revêtement intérieur de 11,5 cm en briques. Dans les conditions de marche normale, la cuisson produit huit tonnes de clinker à l'heure, et on récupère 75 Kg de poussières pendant le même temps. Cette poussière est à l'état de très fine division, et présente en moyenne un refus de 17,32% sur tamis de 6200 mailles au centimètre carré; ce même tamis accepte 82,52% des poussières, et le tamis de 16 400 mailles 49,26%. Le poids du litre de poussières recueillies est de 3 kg, et les gaz qui quittent le séparateur pour se rendre à la cheminée sont parfaitement dépoussiérés.

L'atelier d'ensachage est équipé de trois ensacheuses Bates à deux bouches, capables de mettre chacune par heure 25 tonnes de ciment en sacs de papier de 50 Kg; cet atelier comporte des séparateurs de poussière " Sirocco " du type Direct, qui préviennent toute émission de poussières dans l'atmosphère, et maintiennent l'atelier lui-même dans de bonnes conditions au point de vue ventilation et absence de poussières. Les poussières captées par les séparateurs dans l'atelier d'ensachage sont dans un état de division extrêmement fine; elles laissent un refus de 5,125% sur tamis de 6200 mailles, le même tamis en acceptant 94,57%, et celui de 16 400 mailles 25,8%.

L'installation représentée est la suivante:—Fig. 1 (page 902): Collecteur de poussière en service sur un four rotatif, recueillant une tonne de poussière par jour. Fig. 2 (page 903): Collecteur semblable, recueillant 900 à 1000 kilogs par jour. Fig. 3 (page 904): Collecteur de poussière placé au dessus de la chambre à poussière. Fig. 4 (page 905): Collecteur de poussière installé dans l'atelier d'ensachage.

A NEW BOOK ON CEMENT CHEMISTRY

By Prof. Dr. HANS KÜHL (*Director of The Institute for Cement Research, Berlin.*)

List of Chapters

- I.—The Development of Cement Research.
- II.—The Theory of Cement Burning.
- III.—The Constitution of Portland Cement Clinker.
- IV.—The Problem of Hardening and its Signification in Cement Research.
- V.—The Chemistry of High-Strength Cements.
- VI.—The Technical Aspect of High-Strength Cements.

Dr. Hans Kühl is one of the foremost cement chemists of the world. In this book he exposes the misleading conclusions that have resulted from much of the cement research work of the past, and presents the most up-to-date knowledge on the subject in language readily understandable by the average reader. Dr. Kühl has been an important contributor to the research work on these subjects, some of his work covering a period of twenty years, and this enables him to write as an expert.

As the originator of what may be described as the miniature method of testing described in the book, Dr. Kühl has been the means of connecting the purely scientific work of the laboratory with the manufacturing or technical procedure. Previous investigations have been either the highly-specialised work of physical chemists whereby pure compounds thought to exist in cement have been synthesised and identified by optical constants (but without reference to commercial value as evidenced by strength tests), or the trial-and-error type on the commercial scale which have led to no advance in chemical knowledge. It has been generally admitted that the latter

investigations have led to more fruitful results than the purely scientific work, the production of rapid-hardening cement being a notable example of this. By his technique, however, Dr. Kühl has combined the two methods of investigation, and with no more than three grammes of cement prepared in the laboratory under scientific conditions he is able to apply tests which permit the tensile and comprehensive strengths of the material to be revealed. Similarly small quantities suffice for setting and soundness tests.

The author exposes the misleading conclusions that have resulted from two conditions prominent in much of the cement research work of the past. The first is the examination of the three-component system (lime-silica-alumina) without due regard for the differences caused by the presence of iron oxide acting as a catalyst or flux, and the second is the common procedure of immersing a few grains of cement in a comparatively large volume of water and assuming that the physical and chemical reactions are similar to those that occur in the practical application of cement when the proportion of water to cement is essentially different.

Two chapters are devoted to the chemistry and manufacture of rapid hardening cement, and more information on this important subject is given than has previously been available to the public. The question is here discussed of the influence of particle size upon strength of cement, and many readers will learn with surprise that there is a limit beyond which fineness of grinding can be continued without advantage to the strength of cement.

Another subject little known to English readers is that of "K.L. storage" of test pieces *i.e.* the alternate storage in water and air which constitutes a soundness test and may reveal inherent instability in a cement not detected by the ordinary soundness tests.

Price by Post 7s. 9d. from

CONCRETE PUBLICATIONS LIMITED,
20, DARTMOUTH STREET, LONDON, S.W.1.

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

DIE INTERNATIONALE ZEMENTZEITSCHRIFT IN VIER SPRACHEN.

DEUTSCHER TEIL

Der Drehofen bei der Zementherstellung—X.

von W. GILBERT.

Trockner ohne Ziegelmauerwerkskammer (Gegenstromprinzip).—(134) Da sich die Wirkung der Ziegelmauerwerkskammer auf das Mass der Wärmeübertragung auf die Kohle als verhältnismässig geringfügig erwiesen hat, soll jetzt die Prüfung eines Trockners unter Fortlassung der Ziegelmauerwerkskammer und ohne dem Aussenmantel Wärme zuzuführen, erfolgen. Diese Art von Trockner wird in der Praxis zum Trocknen einer grossen Zahl verschiedener Materialien verwendet.

Abb. 10 (Seite 871) zeigt die Zeichnung der Anordnung. Die Trommel besitzt 1,524 m Durchmesser und ist, wie vorher, 12,80 m über den Winkelhebeleisten lang. Die Zufuhrhaube ist mit B und die Kohlezufuhrschütte mit C bezeichnet. Warme Luft oder Gase werden mit einer Temperatur von $371,1^{\circ}\text{C}$. durch das Rohr E bei der Entleerungshaube D zugeführt. Die Wärme kann entweder dem Drehofen entnommen werden oder aber durch eine gesonderte Feuerung geliefert werden. Die Kohle wird bei F abgegeben. Der Trockner arbeitet nach dem Gegenstromprinzip. Die Leistung beträgt wie vorher wieder, auf trocken berechnet 5 t stündlich und der anfängliche Feuchtigkeitsgehalt ist 15%.

(135) Das schliesslich erhaltene Temperaturdiagramm wird auf Abb. 41 (Seite 872) gezeigt. Der Temperaturbereich des Gases liegt zwischen $371,1^{\circ}\text{C}$. und $71,1^{\circ}\text{C}$. und der der Kohle, wie vorher, zwischen $15,6^{\circ}\text{C}$. und $148,9^{\circ}\text{C}$. Es wird auch eine Kurve dargestellt, die die Manteltemperatur an jeder Stelle längs des Trockners aufweist. Die Wärme wird in der Hauptsache direkt vom Gas auf die kaskadenartig herabfallende Kohle übertragen. Ein Teil indessen wird vom Gas auf den Trommelmantel übertragen. Der Mantel seinerseits strahlt etwas Wärme, die er aufnimmt, auf die Kohle, und die Differenz entweicht von der äusseren Oberfläche in die Luft.

Die Wärme wird anteilmässig wie folgt übertragen:

	%
(a) Von den heissen Gasen direkt auf die Kohle ...	92,8
(b) Von den heissen Gasen auf den Trommelmantel ...	7,2
	<hr/> 100,0 <hr/>

Die an den Mantel abgegebene Wärme teilt sich wie folgt auf:

	%
(c) Strahlung von der inneren Manteloberfläche auf die Kohle	1,1
(d) Verlust von der äusseren Manteloberfläche an die Luft ...	6,1
	7,2

Die Fortlassung der Ziegelmauerwerkskammer vermehrt den Strahlungsverlust des Mantels von 2,4 auf 6,1%, vgl. Abschnitt (112), doch ist die Menge verhältnismässig geringfügig.

(136) **Per Minute erforderliche Wärme.**—Nach Abschnitt (115) beträgt die zur Trocknung der Kohle erforderliche Wärme 13.039 Kal; hierzu kommt indessen der Strahlungsverlust des Mantels, wie später berechnet wird, mit 848 Kal, was ein Gesamt von 13.887 Kal ergibt. Da der Temperaturbereich des Gases 300° C. beträgt, so ergibt sich für das Gewicht des per Minute erforderlichen Gases

$$-\frac{13.887}{300 \times 0,24} = 192,5 \text{ Kg.}$$

(137) Die Länge der 12,80 m ist, wie vorher in sechs Teile geteilt. Die für Berechnungszwecke erforderlichen Punkte sind im allgemeinen denen in Abschnitt (121) zusammengestellten ähnlich. Im einzelnen sind diese folgende:

- | | | |
|---|-------------------------------------|------------|
| (a) Wert für W im Innern des Mantels | $\frac{192,5 \times 60}{1,825}$... | = 6348 |
| (b) Entsprechender Wert für Hc für die Wärmeübertragung zwischen Gas und Innenseite des Mantels | | = 9,76 |
| (c) Wert für Hc für Wärmeübertragung zwischen Gas und Kohle vom Grad VIII, vgl. Abschnitt (114) | | = 109,9 |
| (d) Manteloberfläche für eine Länge von 2,134 m ... | | = 10,22 qm |
| (e) Kohlenoberfläche, kaskadenartig herabfallend, wird bei 2,134 m Länge, $2,134 \times 4,59$... | | = 9,75 qm |

(138) In den folgenden Formeln haben die Symbole gTi , gTr , cTi , cTr , Qr , S , Td und Hc die gleiche Bedeutung wie in Abschnitt (126). Hinzu kommt: Qs = der Wärmeverlust von der äusseren Manteloberfläche an die Luft.

Die auf die Kohle in einem Abschnitt von 2,134 m Länge übertragene Wärme wird jetzt gleich:

$$Qr = \frac{Hc \times S \times Td}{60} = Qr + \frac{110 \times 9,80 \times Td}{60} = Qr + 17,87 Td.$$

Die per Abschnitt durch das Gas aufgegebene Wärme beträgt:

$$17,87 Td + Qs + Qr.$$

Wenn wir wie in Abschnitt (128) vorgehen, erhalten wir:

$$gTr = 0,43 (gTi - cTi) + \frac{Qs}{38,1} + \frac{Qr}{41,6}$$

$$\text{und } cTr = \frac{gTr}{2,12} - \frac{Qs}{98,0}.$$

(139) Die im einzelnen angegebenen Werte, welche sich auf die Wärmeübertragung beziehen, sind in Tabelle XIII dargestellt. Um zu beginnen, werden die Gas- und Kohlentemperaturkurven der Abb. 41 (Seite 872) zunächst provisorisch entworfen, da die Anfangs- und Endtemperaturen festliegen. Zeile (a) der Tabelle entspricht der auf der graphischen Darstellung markierten Länge (a).

Das Verfahren des Ausfüllens der Zeile (a) geht wie folgt vor sich:

Spalte (1) und (2): Die Werte für gTi und cTi sind vorher festgelegt.

Spalte (3) und (4): Die mittleren Temperaturen sind den provisorischen Kurven auf der graphischen Darstellung entnommen.

Spalte (5): Die mittlere Manteltemperatur muss angenommen werden. Ist dieses richtig, so muss die in Spalte (6) angeführte Menge der Mengensumme aus den Spalten (7) und (8) gleich sein.

Spalte (6): Die von den Spalten (3) und (5) erhaltene Temperaturdifferenz beträgt $83,9 - 45 = 38,9^\circ \text{C}$. Unter Verwendung der in Abschnitt (137, b u. d) angegebenen Werte erhalten wir folgende Wärmeübertragung vom Gas auf den Mantel:

$$-\frac{9,76 \times 10,22 \times 38,9}{60} = 64,8 \text{ Kal.}$$

Spalte (7): Für die in Spalte (5) angegebene mittlere Manteltemperatur ist aus Tabelle IV, Abschnitt (11), die vom Mantel an die Luft gegebene Wärme entnommen. Der Wärmeverlust in Kal per qm und Stunde beträgt $179 + (7,3 \times 9,94) = 250,7$; also ist:

$$Q_s = \frac{250,7 \times 10,22}{60} = 42,8.$$

Spalte (8): Vom Mantel auf die Kohle gestrahlte Wärme. Wir erhalten:

Absolute Manteltemperatur = $273 + 45 \dots \dots \dots = 318^\circ \text{C}$.

Absolute Kohlentemperatur = $273 + 21 \dots \dots \dots = 294^\circ \text{C}$.

$$\text{also } Q_r = \frac{10,22}{60} \times \frac{45,6 (318^4 - 294^4)}{10^8} \dots \dots \dots = 21,42.$$

Spalte (9): Die Menge in Spalte (9) ist der in Spalte (6) fast gleich, indem sie nämlich zeigt, dass der in Spalte (5) angenommene Wert für die mittlere Manteltemperatur so weit richtig ist.

Spalten (10) und (11): Der Gas- und Kohlentemperaturanstieg (gTr u. cTr) auf eine Länge von 2,134 m wird aus den Formeln (17) und (18), Abschnitt (138) berechnet, indem die Werte für gTi , cTi , Q_s und Q_r aus Zeile (a) entnommen werden.

Spalte (12): Die Gastemperatur am Ende des 2,134 m langen Stücks wird durch Addition der Werte in den Spalten (1) und (10) erhalten.

Spalte (13): Die Kohlentemperatur am Ende des 2,134 m langen Stücks wird durch Addition der Werte in den Spalten (2) und (11) erhalten.

Es muss jetzt eine weitere Korrektur für die Werte der Zeile (a) vorgenommen werden.

Beim Ableiten der Formeln (17) und (18), Abschnitt (138) war angenommen worden, dass $gTa = gTi + \frac{1}{2} gTr$, also $cTa = cTi + \frac{1}{2} cTr$ ist. Wenn man die Werte der Zeile (a) einsetzt, erhält man:

$$gTa = 71,1 + \frac{25,5}{2} = 83,9$$

$$\text{und } cTa = 15,5 + \frac{11,5}{2} = 21,1.$$

Diese Werte kontrollieren die provisorisch in Spalte (3) und (4) angenommenen Werte; also ist Zeile (a) jetzt richtig. Wenn die Werte in den Spalten

TABELLE XIII.

TROMMELTROCKNER MIT EINFACHEM MANTEL; GEGENSTROMPRINZIP.

Alle Wärmemengen in Kal/Min per Abschnitt von 2.134 m. Sämtliche Temperaturen in °C.

Abschnitt des Mantels.	Anfangliche Gas-temperatur (θ_{T_1}).	Anfangliche Kohlen-temperatur (c_{T_1}).	Mittl. Gastemp. (θ_{T_2}).	Mittl. Kohlentemp. (c_{T_2}).	Mittl. Manteltemp. (s_{T_2}).	Wärmeübertragung vom Gas auf den Mantel.	Wärmeverlust vom Aussenrohr Mantel (Q_s).	Vom Mantel auf die Kohle gestrahlte Wärme (Q_r).	Summe der Spalten (7) + (8) ($Q_s + Q_r$).	Anstieg der Gastemp. (θ_{T_3}).	Anstieg der Kohlen-temper. (c_{T_3}).	Endgastemperatur (θ_{T_4}).	Endkohlentemp. (c_{T_4}).	Temperatur diff. zwischen Gas und Kohle (T_d).	Vom Gas auf die Kohle übertragene Wärme (17,9 T_d).
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
(a)	71,1	15,5	83,8	21,1	45,-	64,8	42,8	21,4	64,2	25,5	11,5	96,6	27,1	62,7	1121
(b)	96,6	27,1	112,7	34,4	58,3	90,7	66,5	24,4	90,9	32,2	14,6	128,8	41,7	78,3	1399
(c)	128,8	41,6	149,5	51,1	73,3	126,5	98,3	26,7	125,0	40,7	18,2	169,6	59,9	98,4	1756
(d)	169,6	59,9	195,5	71,6	92,2	172,4	143,9	28,5	172,4	51,6	22,8	221,2	82,7	123,9	2215
(e)	221,1	82,7	253,9	97,2	113,8	233,1	204,1	28,5	232,6	65,6	29,4	286,7	112,1	156,7	2797
(f)	286,7	112,1	328,3	130,5	140,5	312,5	292,3	21,2	313,5	83,3	36,3	370,-	148,4	197,8	3533
	—	—	—	—	—	1000,0	847,9	150,7	998,6	298,6	132,8	—	—	—	12821

(3) und (4) nicht übereinstimmen würden, so würden sie durch 83,9 und 21,1, wie vorher ermittelt, zu ersetzen sein, und dann wäre die Zeile (a) erneut zu berechnen.

Spalte (14): Diese bedeutet $gTa - cTa$, wie sie den Spalten (3) und (4) entnommen ist, nachdem sich die Werte als richtig erwiesen haben.

Spalte (15): Nach Abschnitt (138) ist die vom Gas auf die Kohle übertragene Wärme 17,87 Td.

(140) Um mit Zeile (b) der Tabelle zu beginnen, werden die Werte der Spalten (12) und (13) der Zeile (a) auf die Spalten (1) und (2) der Zeile (b) übertragen, und dann schreitet die Berechnung der Zeile (b) wie die der Zeile (a) vor.

Man ersieht aus Zeile (f) der Tabelle XIII, dass die Gastemperatur 370°C . statt $371,1^{\circ}\text{C}$. und die Kohlentemperatur $148,4^{\circ}\text{C}$. statt 149°C . erreicht. Die nach den Spalten (8) und (15) gesamte von der Kohle aufgenommene Wärme beträgt $150,7 + 12,821 = 12.972$ Kal, verglichen mit 13.039 Kal, die nach Abschnitt (115) erforderlich waren. Also ist die Oberfläche der kaskadenartig herabfallenden Kohle mit 4,56 qm per laufendem Meter, wie es in Abschnitt (137), Zeile (e) angenommen wurde, richtig.

Wärmeaustauschdiagramm (Gegenstromprinzip).—(141) Das Wärmeaustauschdiagramm, das nunmehr eine einfache Form annimmt, wird auf der Abb 42 (Seite 875) gezeigt. Die Fläche ABCD stellt die gesamte der Kohle zugeführte Wärme dar. Der durch Strahlung vom Mantel auf die Kohle übertragene Anteil ist zu klein, um ihn getrennt auf dem Diagramm darzustellen. Die Fläche DCFE stellt die von der Manteloberfläche an die Atmosphäre verlorene Wärmemenge dar. Ein z.B. in Entfernung von 10,40 m vom Ende A gezogene Ordinate zeigt, dass das Mass der Wärmeübertragung auf die Kohle per m und Minute 1437 Kal beträgt, und dass die Mantelstrahlung per m und Minute 111,5 Kal beträgt.

(142)

WÄRMEBILANZ.

(Mengen per Minute).

Verglichen mit der Wärmebilanz im Abschnitt (132), bleiben die Kal der Linie (a) und (b) wie zuvor:

		Kal	%
(a)	Um die Temperatur der Kohle zu steigern ...	3725	22,60
(b)	Um Wasser zu verdampfen	9314	56,60
(c)	Strahlungsverlust vom Mantel, Tab. XIII ...	848	5,20
(d)	Abgasverlust $193 (71 - 15,5) \times 0,24$	2570	15,60
		<hr/> 16.457	<hr/> 100,00

Man erkennt, dass 56% der Wärme zur Verdampfung von Wasser verausgabt wird im Vergleich zu 59% nach Abschnitt (132). Mit anderen Worten: es dürfte eine weitere 5,4 kg Normalkohle entsprechende Wärmemenge vom Ofen oder der Feuerung her erforderlich sein.

Ergebnis der Untersuchung.—(143) Aus den Abb. 38 und 41 geht hervor, dass der Trockner nicht mit einer Ziegelmauerwerkskammer ausgerüstet ist, dass die Manteltemperatur beträchtlich niedriger ist und dass so sich ein geringerer Verlust an flüchtiger Substanz ergibt und eine wesentlich weniger grosse Gefahr der Schädigung des Mantels durch Wärme.

Es ist in Abschnitt (130) nachgewiesen worden, dass die Vorrichtung der Kaskadenwinkleisten, wie sie in Abb. 31 gezeigt sind, mehr als ausreichend ist, um die kaskadenartig herabfallende Kohlenoberfläche von 4,57 qm

per laufendem Meter zu schaffen, die sich als erforderlich herausgestellt hat. Es würde durchaus praktisch sein, die in kaskadenartigem Falle begriffene Kohlenmenge in jedem Moment zu verdoppeln oder zu verdreifachen durch Steigerung der Grösse und Zahl der Hebewinkelleisten oder Kanäle und durch Steigerung der Umdrehungsgeschwindigkeit des Trockners. Wenn man daher voraussetzt, dass der Staub vom Trockner im Ofen verbrannt werden kann, so würde ein Drittel der Mantellänge genügen unter Fortlassen der Ziegelmauerwerkskammer.

Trockner ohne Ziegelmauerwerkskammer (Gleichstromprinzip).—(144) In dieser Art Trockner wandert das Gas in der gleichen Richtung wie die Kohle. Ein Vorteil besteht darin, dass die feinen Kohleteilchen, die leicht zu trocknen sind, in ihrem Durchtritt durch den Gasstrom beschleunigt werden und dass die grösseren mehr Zeit zum Trocknen haben. Die heissen Gase werden der Zufuhrhaube des Trockners zugeführt und treten in den Trommelmantel durch das Mundstück ein, durch das die Zufuhrschütte geht. Die verbrauchten Gase und die Kohle treten an der Entleerungshaube aus.

Es wird nach gleichen Gesichtspunkten, wie vorher, ein Beispiel ausgearbeitet. Der Mantel besitzt 1,524 m Durchmesser und ist über den Kaskadenleisten 12,80 m lang. Die Leistung beträgt 5 t per Stunde, auf trocken berechnet, bei Kohle, die 15% Feuchtigkeit enthält. Die Ziegelmauerwerkskammer ist fortgefallen.

Ein Diagramm der Temperaturverteilung ist in Abb. 43 (Seite 878) gegeben. Da die Kohle den Trockner mit 149° C. verlässt, muss die Abgastemperatur etwas höher sein. Zunächst wird ein Gastemperaturbereich von 160 bis 460° C. angenommen, was einen Temperaturabfall von 300° C., wie vorher ergibt. Die Oberfläche der kaskadenartig herabfallenden Kohle per laufendem Meter ist der des Trocknermantels gleich gemacht mit 4,79 qm.

(145) *Per Minute erforderliche Wärme.*—Die zum Trocknen der Kohle erforderliche Wärme beträgt 13.039 Kal (Abschnitt 115). Hierzu kommt der Mantelstrahlungsverlust mit 1256 Kal, wie zuletzt bestimmt wird. Dieses ergibt ein Gesamt von 14.295 Kal. Also beträgt das Gasgewicht per Minute:

$$\frac{14.295}{300 \times 0,24} = 198,6 \text{ kg.}$$

und der Wert für W ist:

$$W = \frac{198,6 \times 60}{1,825} = 6539.$$

H_c für Gas und Mantel wird wie vorher mit 9,76 genommen und der Wert für H_c von Gas und Kohle bleibt 109,9. Die Kohlenoberfläche, die sich im Kaskadenfall befindet, beträgt per 2,134 m Länge $2,134 \times 4,79 = 10,22$ qm, also beträgt die vom Gas auf die Kohle übertragene Wärme:

$$\frac{109,9 \times 10,22}{60} Td = 18,71 Td$$

(in Kal per Min., per 2,134 m Mantellänge, wie vorher).

(146) Die Wärmeübertragung ist in Tabelle XIV berechnet. Die Zeile (a) bezieht sich auf das Kohlenzuführende des Trockners wie bisher und aus Abb. 43 (Seite 878) ersieht man, dass ein Gastemperaturabfall (gTf) jetzt

TABELLE XIV.
TROCKENTROMMEL MIT EINFACHEM MANTEL. GLEICHSTROMPRINZIP.
Alle Wärmemengen in Kal/Min per Abschnitt von 2,134 m. Sämtliche Temperaturen in °C.

Abschnitt des Mantels.	Anfängliche Gastemperatur (gTi).	Anfängliche Kohlentemperatur (cTi).	Mittl. Gastemp. (gTa).	Mittl. Kohlentemp. (cTa).	Mittl. Manteltemp. (sTa).	Wärmeübertragung vom Gas auf den Mantel.	Aeusserer Wärmeverlust vom Mantel (Qs).	Vom Mantel auf die Kohle gestrahlte Wärme (Qr).	Summe der Spalten (7) (8) (Qs Qr).	Abfall der Gastemperatur (gTf).	Anstieg der Kohlentemperatur (cTr).	Endgastemperatur (gTe).	Endkohlentemp. (cTe).	Temperaturdiff. zwischen Gas und Kohle (Td).	Vom Gas auf die Kohle übertragene Wärme (18.77 Td).
(a)	(1) 460,0	(2) 15,5	(3) 388,3	(4) 48,8	(5) 137,2	(6) 418,3	(7) 280,9	(8) 137,8	(9) 418,7	(10) 143,9	(11) 66,1	(12) 316,1	(13) 81,7	(14) 339,4	(15) 6363
(b)	316,1	81,6	277,7	98,8	120,5	261,5	225,5	38,1	263,6	76,7	34,4	239,4	116,1	178,9	3352
(c)	239,4	116,1	218,8	125,0	112,2	177,7	200,5	-24,2	176,3	41,1	17,8	198,3	133,9	93,8	1758
(d)	198,3	133,8	187,2	138,3	108,3	131,-	189,5	-58,2	131,3	22,2	8,9	176,1	142,8	48,9	915
(e)	176,1	142,7	170,0	145,0	106,1	126,3	182,7	-77,1	105,6	12,2	3,9	163,8	146,7	25,-	468
(f)	163,8	146,6	160,5	147,2	104,4	93,5	177,9	-84,9	93,-	7,2	1,7	156,6	148,3	13,3	249
	1188,3	125,7	-68,5	1188,5	303,3	132,8	—	—	—	—	—	—	—	—	13105

berücksichtigt werden muss. Wenn man nach den Zeilen des Abschnitts (128) verfährt, ergibt sich, dass

$$gTf = 0,305 (gTi - cTi) + \frac{Q_s}{56,24} + \frac{Q_r}{61,24} \dots\dots\dots (19)$$

$$\text{also } cTr = \frac{gTf}{2,06} - \frac{Q_s}{98,00} \dots\dots\dots (20)$$

ist.

Nach dem Markieren provisorischer Kurven für die Gas- und Kohlen-temperatur in Abb. 42 (Seite 875) geht die Berechnung in ähnlicher Weise vor sich, wie sie in Verbindung mit Tabelle XIII beschrieben ist.

Die für die Oberfläche der kaskadenartig herabfallenden Kohle angenommene Fläche erkennt man als im wesentlichen richtig, da die Gastemperatur auf 156,6° C. (Spalte 12) fällt und die Kohlentemperatur auf 148,3° C. (Spalte 13) steigt. Die vom Gas auf die Kohle per Minute übertragene Wärme beträgt 13.105,2 Kal (Spalte 15). Hiervon wird die vom Mantel auf die Kohle gestrahlte Wärme abgezogen (Spalte 8), wodurch man die tatsächlich der Kohle zugeführte Wärmemenge von 13.105 – 68 = 13.037 Kal erhält. Dieser Wert ist zu vergleichen mit der erforderlichen Menge von 13.039 Kal (Abschnitt 115).

Man erkennt aus Abb. 43 (Seite 878), dass auf den ersten 4,27 m des Mantels Wärme auf die Kohle strahlt, dass jedoch auf dem Rest der Mantellänge die Kohle Wärme auf den Trommelmantel strahlt.

(147) WÄRMEBILANZ BEIM GLEICHSTROMPRINZIP.

(Mengen per Minute).

		Kal	%
(a) Um die Temperatur der Kohle zu steigern	...	3725	17,6
(b) Um Wasser zu verdampfen	...	9314	44,0
(c) Strahlungsverlust vom Mantel, Tab. XIV	...	1256	5,9
(d) Abgasverlust 198,6 (160 – 15,5) × 0,24	...	6887	32,5
		<hr/> 21.182	<hr/> 100,0

Der in diesem Falle höhere Abgasverlust reduziert die Verdampfungswirksamkeit des Trockners; wenn jedoch das Abgas in den Ofen passiert, so wird der Verlust der Zeile (d) zur Hauptsache wiedergewonnen.

Wärmeaustauschdiagramm. Gleichstromprinzip.—(148) Das Mass¹ des Wärmeaustausches beim Gleichstrom wird in Abb. 44 (Seite 880) gezeigt. Die Wärmezufuhr vom Gas zur Kohle per laufendem Meter des Trockners kann für jede Position erhalten werden durch Ausziehen einer Ordinate von der Abszisse AB zur Kurve CD. Bei 0,61 m vom Eintritt erkennt man das Mass mit 1015 Kal per Minute. Zur punktierten Kurve EF gezogene Ordinaten zeigen das tatsächliche Mass der Wärmezufuhr zur Kohle unter Berücksichtigung der Strahlung zwischen Kohle und Mantel. Zur Kurve GH von der Abszisse AB gezogene Ordinaten geben den Wärmeverlust von der Aussenfläche des Trommelmantels an.

Ergebnis der Untersuchung.—Unter erneutem Bezug auf Abb. 44 (Seite 886) ist bei Wiedergewinnung des Abgasverlustes durch den Ofen nicht viel dagegen einzuwenden, den Trockner länger als 8,53 m zu machen. Diese Länge von 8,53 m kann durch zwei oder drei geteilt werden, wenn die Oberfläche der kaskadenartig herabfallenden Kohle und die Umdrehungsgeschwindigkeit des Trockners in passender Weise gesteigert werden (vgl. Abschnitt 143). Eine Länge von 3 m oberhalb der Kaskadenwinkleisten könnte daher ausreichend sein.

Zusammenfassung.

(149) In Tabelle XV sind verschiedene Werte zusammengestellt, welche sich auf die drei Typen der behandelten Trockner beziehen.

TABELLE XV.

Art des Trockners.	Gastemperaturbereich in °C.	Kohlentemperaturbereich in °C.	Trockne Kohle per Minute in kg.	Gas per Minute in kg.	H' , innerhalb des Mantels.	H_c , Gas auf Kohle vom Grad. VIII.	Aeusserer Strahlungsverlust in Kal per qm und Minute.	Kohlenoberfläche, kaskadenartig fallend in qm per laufendem Meter.
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Ziegelkammer Gegenstrom	371,1—71,1	15,5—149	84,6	185,3	6098	109,9	321	5,03
Einfacher Mantel-Gegenstrom	371,1—71,1	15,5—149	84,6	192,5	6348	109,9	848	4,57
Einfacher Mantel-Gleichstrom	460—160	15,5—149	84,6	198,6	6539	109,9	1256	4,79

Die jetzt entwickelten Methoden zur Erlangung des Masses der Wärmeübertragung in Kohlentrocknern sind für Trockner von Rohmaterial anwendbar und ebenfalls für Drehofenklinker-Kühler. Passende Werte für H' und verschiedene Klinkerkörnungen bei verschiedenen Werten von W sind als Ergebnis einer ausgedehnten Untersuchung bestimmt worden. Man wird später sehen, dass das Abkühlen von Drehofenklinker durch kaskadenartiges Herabfallen wirksam wird.

INTERNATIONAL**“CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE”****Bezugspreise.**

AUF Grund der sehr stark vermehrten Herstellungskosten von „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“ in seiner neuen Form, ist es notwendig gewesen, den Preis auf 2 Shilling für jedes Heft zu erhöhen. Der jährliche, in der ganzen Welt postfreie Bezugspreis beträgt 24 Shilling. Augenblickliche Bezieher, welche auf Grund unserer früheren Subskriptionsliste im Voraus bezahlt haben, werden so lange die Hefte zum alten Preise weiter erhalten, bis ihr gegenwärtiges Abonnement abläuft.

Der jährliche Bezugspreis ist an „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“, London, S.W.1, Dartmouth Street 20, England einzusenden, worauf die Hefte regelmässig monatlich für die Dauer des Bezugs zugestellt werden.

Was können wir von der Entwicklung der Zementerzeugung praktisch erwarten.

Von RUDOLF ZOLLINGER.

STELLEN wir den Schachtofen- dem Drehofenbetrieb gegenüber so wissen wir, dass bei kleinen Produktionen der Schachtofen dem Drehofen überlegen ist, während bei wachsender Produktion beide Systeme sich in ihrer Rentabilität einander immer weiter nähern und letzten Endes bei grossen Produktionen der Drehofen sogar der rentabler arbeitende Ofen wird.

Lassen wir die Amortisationsfrage, die sich bei Werken kleinerer Produktion zweifellos mehr auswirkt und schon daher für den bedeutend billigeren Schachtofen von Wichtigkeit ist, ausser acht und betrachten wir hier vornehmlich die interessantesten Fragen des Lohn- und Kraftanteils so wissen wir: je grösser ein Aggregat wird, umso rentabler gestaltet es sich in der Ausnutzung des Lohn und Kraftanteiles. Die Kraft wächst nicht proportional der Masse d.h. der Grösse der Maschinen, sondern der Kraftbedarf bleibt zurück, oder eine Zementmühle doppelter Leistung braucht keineswegs die doppelte Kraft, sondern bedeutend weniger. Mit dem Lohnanteil verhält es sich noch günstiger, da ich mit einem Müller sowohl eine Mühle von 2 Tonnen Stundenleistung, wie eine solche von 20 Tonnen Stundenleistung fahren kann.

Der Lohn- und Kraftanteil wird sich nun für Fabriken beider Systeme gleich auswirken, sofern es sich um die Müllerei, Transport usw. handelt. Anders verhält es sich im Ofenbetrieb selber. Der Drehofen kann gewissermassen als Mühle aufgefasst werden in bezug auf die erwähnte Lohn- und Kraftfrage. Anders ist es aber beim Schachtofen. Seine Leistung hat ihre Grenze nach oben, d.h. bei höherer Leistung muss der Winddruck ganz bedeutend gesteigert werden und diese Winddrucksteigerung verlangt bei höheren Winddrucken einen Kraftbedarf, welcher jede Rentabilität dieses Ofens bei einer gewissen Grenze gleich Null werden lässt. Haben wir also die Grenze erreicht, bis zu der der Schachtofen noch rentabel arbeitet, so müssen wir, um noch höhere Produktion zu erzielen zu einem zweiten Ofen unsere Zuflucht nehmen. Die Produktionsgrenze liegt bei 120 Tonnen. Um z.B. 360 Tonnen Zement täglich zu erzeugen, eine Produktion, die wir mit einem Drehofen noch bewältigen können, brauchen wir bereits 3 Schachtofen. Während sich das Drehofenpersonal in gleicher Höhe gehalten hat, hat sich indessen das an sich höhere Schachtofenpersonal verdreifacht, oder wenigstens verdoppelt im allergünstigsten Falle.

So scheitert also ein wärmeökonomisch günstigeres System an der Beschränkung seiner Produktionssteigerung und das wärmeökonomisch ungünstigere System arbeitet rentabler, da es über die Grenze der Produktionssteigerung des andern Systemes hinaus eine bedeutend weiter gehende Ausnutzbarkeit zulässt. Aus diesem Grunde halten die grossen Zementwerke, trotzdem sie sich der Brennstoffverschwendung voll bewusst sind, auch an ihren Drehöfen fest, da der Mehrverbrauch an Kohle anderweitig mehr wie eingespart wird.

Jetzt kommt aber noch etwas hinzu, was dem Drehofenbetrieb grösserer Leistung ein weiteres Übergewicht schafft. Es ist dies die Verwertung der Abhitze. Letztere lohnt sich erst dort zu erfassen, wo sie in Mengen vorhanden ist, dass die zu errichtende Verwertungsanlage sich auch rentiert. Abhitzeverwertungsanlagen zu schaffen in Betrieben kleinerer Produktion wird sich nie lohnen und Versuche in dieser Richtung werden denjenigen ohne weiteres recht geben, die in der Abhitzeverwertungsanlage keinen Gewinn, sondern eine Verteuerung des Drehofenbetriebs sehen.

Natürlich bleibt die Zementindustrie nicht auf einem Punkte stehen sondern das Bestreben geht weiter, dahin dass man nach immer grösserer Vervollkommnung sucht. Ist eine Entwicklung in der einen Richtung nicht mehr möglich, so muss in einer andern Richtung vorgegangen werden. Wir haben gesehen, dass zurzeit im Ofenbetrieb der Schachtofen so weit gediehen ist, dass er seine Höchstproduktion erreicht hat. Die Entwicklung von Schachtofen zum Hochleistungsschachtofen ging dahin, dass man die Zeit abkürzte, die der Brennprozess bisher dauerte. D.h. man jagte das Material in einem schnelleren Tempo durch den Ofen hindurch, was aber nur möglich war, durch Steigerung der Luftmenge. Die Steigerung der Luftmenge aber bedingte erhöhte Windgeschwindigkeit und erhöhten Winddruck. Die Erzeugung dieses Winddruckes ist eine Ventilatorfrage und vorallem eine Kraftfrage. Wie schon eingangs erwähnt wird die aufzubringende Kraft mit steigenden Winddrücken derartig gross, dass von einer Rentabilität nicht mehr die Rede sein kann. Hiermit ist der Schachtofen in seiner Entwicklung vorläufig zum Stillstand gekommen. Anders ist es mit dem Drehofen, bei dem man keineswegs von einem Stillstand reden kann. Hat der Schachtofen sich in seinem Brennstoffverbrauch schon fast dem theoretischen Wert, also wärmeökonomisch praktisch dem Ideal genähert, so ist der Drehofen von diesem Idealzustand noch sehr weit entfernt, da wie weiterhin gezeigt werden soll, die Drehofenentwicklung, aus der Not heraus Umwege ging und erst in neuester Zeit auf den Kern der Sache selber hinarbeitete. Wenn nun trotzdem der Drehofen als wärmeökonomisch schlechter sich zu behaupten gewusst hat und bei grösserer Produktion sogar den fast theoretisch arbeitenden Schachtofen schlug, so müssen wir uns darüber klar sein, dass dem Drehofen noch eine bedeutende Zukunft bevorsteht, wenn er wärmeökonomisch sich auf dieselbe Stufe bringen lässt, wie der Schachtofen.

Der schwache Punkt des Drehofensystems liegt darin, dass der Drehofen eine jämmerliche Querschnittsausnutzung wärmetechnisch erlaubt. Das Ergebnis hiervon ist ungenügende Wärmeübertragung und damit verbunden schlecht ausgenutzte Heizgase. Man versuchte daher, die schlecht ausgenutzten Heizgase anderweitig zu verwerten. Das Nächstliegende war die Verwertung zum Rohmaterialtrocknen, ein Weg, der indessen nur dort möglich war, wo man nach dem Trockenverfahren arbeitete, einem Verfahren, welches indessen gerade für den Drehofenbetrieb wesensfremd ist. Über die Amerikaner kam dann die Verwertung der Abgase im Abhitzekessel zur Krafterzeugung zu uns. Es war ein langer arbeitsreicher Weg, bis die Abhitzekessel in ihrer heutigen Form als zufriedenstellend arbeitend angesehen werden konnten und als ideale Lösung ist der Abhitzekessel keineswegs zu begrüßen. Ausser dass er in seiner Kompliziertheit empfindlich und teuer ist, also, wie schon gesagt, seine Erstellung nur für grösste Betriebe ratsam sein kann, ist er eine Zusammenkupplung zweier verschiedener Betriebe, die an sich gar nichts mit einander zu tun haben.

Eine praktisch einwandfreie Lösung dagegen würde nur die Verwertung der Abgase im Betriebe selber sein, also zum Trocknen, Luftvorwärmen oder anderer für den Brennprozess selber unbedingt nötiger Prozesse. Schliessen wir die Trockenaufbereitung als dem Drehofenprozess wesensfremd aus, so bleibt zum Trocknen lediglich die Kohle oder der Schlamm selber. Die Kohle wird wohl heute allgemein durch die Klinkerabwärme in den Abhitzemöhlen, wie Löschemühle, Remamühle usw. getrocknet. Über die Möglichkeit der Schlamm-trocknung soll weiter unten gesprochen werden.

Es käme weiterhin die Luftvorwärmung infrage, die die Abhitze zu verwerten imstande wäre. Es hat nicht an Vorschlägen in dieser Richtung gefehlt.

Denkbar wäre z.B. die Einschaltung von Siemens Regeneratoren, ähnlich, wie sie die Eisenhütten-Industrie kennt. Auch der aus dem Hochofenprozess bekannte Rekuperator wurde vorgeschlagen. Praktisch ist der Einbau von Siemens Regeneratoren unbedingt denkbar und würde sich wahrscheinlich bewähren. Ungefähr in der gleichen Richtung bewegen sich verschiedene Patente, die einen Teil der heissen Abgase in Zonen höchster Temperatur abziehen und im Kreislauf mit Frischluft dem Ofen wieder zuführen.

Andere Vorschläge gehen dahin die Öfen ins Fantastische zu verlängern, indem sie ihnen eine Länge bis zu 120 Metern geben. Dass hierdurch die Abgase zum Vortrocknen des Schlammes im Ofen selber weitgehend ausgenutzt werden, liegt auf der Hand, andererseits, wird aber die Strahlung vergrössert, da die Ofenfläche ein bedeutend grössere wird und der ganze Ofen wird furchtbar unhandlich und zu einem Krafttresser übelster Sorte. Eher diskutabel wird die Sache nach dem Polysius-Leleup Verfahren und wird in Verfolgung dieser Ideen noch etwas zu erreichen sein. Vorläufig krankt dieses Verfahren noch an seiner Umständlichkeit und seinen hohen Betriebskosten, die ein gut Teil der Ersparnis an Brennstoff wieder ausgleichen.

Ein weiterer Weg wäre der Übergang vom Gegenstromprinzip zum Gleichstromprinzip unter Ausnutzung der günstigen Erfahrungen, die man in der Trochnerei in dieser Hinsicht gemacht hat. Ich würde mir eine derartige Anlage in der folgenden Form vorstellen: Der Drehofen wird in zwei übereinander liegende Trommeln aufgeteilt. Der Schlamm fliesst der oberen Trommel zu, durch welche die Abgase der unteren Brenntrommel in gleicher Richtung wie der Schlamm streichen. Die Abgase trocknen also im Gleichstrom und geben das Material getrocknet und zum Teil bereits kalziniert an die untere Trommel ab. Diese brennt ebenfalls im Gleichstrom das Material zum Klinker, der die Trommel also dem Brennerstand entgegengesetzt verlässt, während die heissen Abgase in der Rauchkammer aufsteigen und durch die eingangs erwähnte obere Trommel weitergeleitet und zum Vortrocknen, resp. Kalzinieren verwertet werden. Da die Gleichstromtrocknung, wie die Erfahrung der Trocknerei in dieser Hinsicht gezeigt hat einen bedeutend intensiveren Wärmeaustausch gestattet, würde man bei einem Verfahren nach diesem Gesichtspunkt wahrscheinlich mit verhältnismässig kurzen Öfen auskommen.

Zum Schluss muss man sich die Frage vorlegen, ob der Drehofen wenn es wirklich gelungen ist, ihn soweit zu bringen, dass er wie der Schachtofen den theoretischen Brennstoffverbrauch erreicht haben wird, das letzte Ende der Entwicklung sein wird, oder ob die Brennmachine der Zukunft sowohl über den Drehofen, wie über den Schachtofen hinweg gehen wird.

Wir sind uns darüber klar, dass sowohl Drehofen, wie Schachtofen weit davon entfernt sind eine Idealmaschine zu repräsentieren. Die Zementbildung erfolgt in einer verhältnismässig kurzen Zeit, dagegen sehen wir, dass unsere heutigen Brennmachines alle miteinander die zu brennenden, resp. gebrannten Massen viel länger wie nötig in sich selber herumschleppen. Jedes überflüssige Herumschleppen aber von Massen bedeutet Kraft. Es wird also die Entwicklung nach Erreichung des brenntechnischen Idealzustandes dahin gehen müssen, diesen Idealzustand auch maschinell zu erreichen, durch Schaffung einer Brennmachine, die das Minimum an Kraft verlangt. In Verfolgung dieses Weges kommen wir letzten Endes dann zu Gedankengängen, wie sie bereits von Naske, Meier und Andreas ausgesprochen worden sind, nämlich zu der Erzeugung des Zementes innerhalb der Flamme selber. Gehen wir noch einen Schritt weiter, so hätten wir die direkte Feuerung, d.h. die Zementerzeugung als Nebenprodukt der Krafterzeugung in der Art, dass wir unter dem Kessel des Kraftwerkes ein Gemisch von Brennstoff und Rohmaterial nach Art der minderwertigen Brennstoffe verfeuern.

Ein neues Portland-Zementwerk in der Schweiz.*

von F. F. TIPPMANN.

Im schweizerischen Juragebiet, wo sich vorzügliche Rohstoffe zur Fabrikation von hochwertigem Portlandzement in unerschöpflichen Mengen vorfinden, gründete im Jahre 1928 die schweizerische Gesellschaft: Portland-Zementwerke Hausen Aktiengesellschaft, in Hausen bei Brugg (Canton Aargau) eine Portland-Zementfabrik, deren Projektierung, Bau, Ausführung und gesamte Einrichtung der bekannten Spezial-firma; Andreas,† Maschinenbau-Gesellschaft m.b.H. in Münster in Westfalen übertragen wurde. Für den ersten Ausbau des Werkes wurde ein Tagesleistung von 500 Tonnen festgelegt, jedoch mit allen Vorkehrungen zur späteren Verdoppelung der Leistung auf täglich 1000 Tonnen.

Das von den Gründern endgültig genehmigte Werksprojekt zeigt Abb. 2 (Seite 886) im Grundriss und Schnitt. Es wurde das sogenannte kombinierte Produktionsverfahren mit Hochleistungs-Schachtofen System Andreas (DRP und Auslands-Patente) und Drehöfen System Andreas (Patente angem.) gewählt, und zwar aus dem Grunde, um allen eventuellen Absatzschwankungen des Zementmarktes mit wirtschaftlichsten Methoden folgen zu können. Seitdem der Schachtofen System Andreas ohne Verziegelung, der Rohmasse ein in wirtschaftlicher Beziehung quasi ebenbürtiger Rivale des Drehofens wurde, haben sich schon mehrere neue und auch ältere Drehofenwerke zu diesem kombinierten Produktionsverfahren entschlossen. Abb. 1.—Vorbereiten; (2) Silos für Rohmaterial; (3) Trockner; (4) Elektrischen Staubsammler; (5) Rohmühle und Zementmühlen; (6) Mischsilos für Rohmehl; (7) Schachtofen; (8) Drehofen; (9) Vorbereiten; (10) Silos für Rohmaterial; (11) Trockner; (12) Zementsilos; (13) Bahnanschluss; (14) Packanlage; (15) Rohmühlen; (16) Zementmühlen; (17) Kohlenilos; (18) Mischsilos für Rohmehl; (19) Schachtofen; (20) Kohlenmahlung; (21) Drehofen; (22) Klinkersilos; (23) Gipsilo; (24) Kohlen- und Gipsbunker.

Mit dem Bau des Werkes wurde am 4. Oktober 1928 begonnen und konnte das Werk, trotz des überaus strengen Winters, bereits Anfangs August 1929 mit voller Leistung in Betrieb genommen werden. Abb. 1 (Seite 885) zeigt das fertige Werk von der Bahnseite aus, und Abb. 3 (Seite 887) von der Rückseite aus gesehen.

Die Rohstoffe bestehen aus einem harten hochprozentigen Jura-Kalkstein und verschieden-kalkhaltigen mittelharten Jura-Kalkmergeln, welche schichtenweise gewonnen und mittels einer Seil-Rollbahn durch einen Stollen dem Werk zugeführt werden. Die mit den Rohstoffen beladenen Rollbahn-Waggonette werden von einem automatisch wirkenden Kreiselwipper entleert und von einem Platten-Transporteur dem Hammerbrecher System Andreas DRP. zugeführt. Dieser zerkleinert Gesteinsblöcke bis zu 1,5 Meter Grösse in einem Prozess auf Haselnussgrösse bei einer stündlichen Leistung von 100 Tonnen, bewältigt demnach die täglich erforderliche Leistung von 800 Tonnen Rohmaterial in einer 8-stündlichen Arbeitsschicht. Abb. 4 (Seite 888) zeigt die Vorzerkleinerungsanlage des Werkes.

* Das Werk ist inzwischen in den Besitz des schweizerischen Zement-Syndikates übergegangen.

† Die Firma Andreas G.m.b.H., bezw. deren Zementmaschinenabteilung, hat sich inzwischen mit der Firma: Krupp-Grusonwerke A.-G. Magdeburg-Buckau zusammengeschlossen.

Die zerkleinerten Rohstoffe werden in 3 Silos von zusammen 700 Kubikmeter Inhalt gelagert, deren Entleerung durch Teller-Apparate System Andreas erfolgt (Abb. 5, Seite 888). Hier wird auch vom Laboratoriumspersonal die grobe Einstellung der Rohmaterial-Mischung vorgenommen. Die Konstruktion der Silo-Entleerungen System Andreas ist insofern eigenartig und zweckdienlich, indem die Entleerung in einem seitlichen Silo-Anbau erfolgt, wodurch die darunter angeordneten Teller-Apparate und die stets konstante Höhe der darüber liegenden Materialsäule ein gleichmässiges Entleeren gewährleisten, was zur Einstellung einer genügend genauen Kalk-Mergel-Mischung von hervorragender Bedeutung ist. Diese bewährte Art der Silo-Entleerung ist im ganzen Werk bei allen Silos und sonstigen Behältern—wie Roh- und Zementmühlen-Vorratsbunker, Kohlsilos, Gipssilo etc.—welche stückige oder körnige Materialien heinhalten, vorgesehen.

Das aus den Rohmaterial-Silos abgezogene Kalk-Mergel-Gemisch wird einer Trockentrommel mit Zellen-Einbau System Andreas aufgegeben und getrocknet. Die Trockentrommel hat einen wärmetechnisch ausgezeichneten Trockeneffekt und wird mittels einer elektrischen Schlot-Entstaubungsanlage System Lurgi entstaubt. Abb. 6 (Seite 889) zeigt die Trockentrommel mit der elektrischen Schlot-Entstaubung.

Das getrocknete Rohstoff-Gemisch gelangt in den Vorratsbunker der Rohmühle. Diese ist eine Hochleistungs-Dreikammer-Verbundmühle System Andreas von 2,2 Meter Durchmesser und 14 Meter Länge und leistet stündlich 60 Tonnen Rohmehl bei einer Feinheit von 12-14% Rückstand auf dem Sieb mit 4900 Maschen pro Quadratcentimeter, bezw. also 75 Kg pro Pferdekraft und Stunde, was als eine Spitzenleistung der modernen Mahltechnik gelten darf. Die erforderliche tägliche Rohmehlmenge von 800 Tonnen wird also von einer einzigen Mühlen-Einheit während der Nacht bei Ausnützung des billigen Nachtstromes erzeugt. Mit Ausnahme der Öfen sind übrigens alle Betriebs-Abteilungen so bemessen, dass sie nur während des billigen Nachtstrom-Tarifs 8 oder 12 Stunden hindurch im Betrieb sind.

Die Roh- und Zementmühlen sind in einer gemeinsamen und geräumigen Halle untergebracht. Die Mühlen werden von absolut betriebssicheren langsamlaufenden Elektro-Motoren angetrieben, welche mit Blindstrom-Kompensierungs-Aggregaten ausgerüstet sind, so dass sie bei der Einfachheit und Betriebssicherheit kraftwirtschaftlich mit demselben Wirkungsgrad arbeiten, wie schnellaufende Motoren mit Reduktionsgetrieben.

Das Rohmehl gelangt in die Mischsilo-Anlage, welche aus 4 Zellen mit einem Gesamthalt von 2200 Kubikmeter besteht und nach dem Umwälz-Mischverfahren betrieben wird. Die Homogenisierung des Rohmehls ist eine sehr weitgehende und betragen die Schwankungen im CaCO_3 -Gehalt kaum 0,3%.

Die Entleerung der Rohmehl-, sowie auch der Zement-Silos erfolgt durch doppelte Ketten-Entleerungen, von Andreas neu durchkonstruiert und verbessert (Abb. 7, Seite 890). Bezeichnend für diese Entleerungen ist, dass die bautechnische Ausführung der Silos selbst überaus einfach wird und die Baukosten derselben ganz wesentlich billiger ausfallen.

Das homogenisierte Rohmehl wird nun den Ofen-Anlagen zugeführt, von welchen zunächst die Schachtofenanlage kurz beschrieben sei. Im ersten Ausbau des Werkes wurden 2 Schachtofen von je 2,5 Meter Durchmesser und 10 Meter nutzbarer Schachthöhe errichtet. Das Rohmehl und der Brennstoff (Anthrazit-Grus) werden von automatischen und gekuppelten Waagen stets gleichmässig gewogen, das Gemisch dann in einer Spezial-Mischschnecke angefeuchtet, innig durchgearbeitet und ohne jede Verziegelung oder Verformung mittels einer Spezial-Ofenbeschickungs-Vorrichtung dem Ofen unmittelbar aufgegeben.

Die Öfen zeichnen sich dadurch aus, dass das Anbacken des Brenngutes am Ofenfutter gänzlich ausgeschlossen ist, der Brand in verhältnismässig schmaler Sinterzone sehr rasch erfolgt und durch die sekundäre Luftzuführung eine ebenfalls sehr rasche und intensive Kühlung des Klinkers bewirkt wird. Die Entleerung des Ofens erfolgt durch einen mechanischen Rost und die luft- und staubdichte Entleerungs-Schleuse System Andreas DRP. Abb. 8 (Seite 890) zeigt die Gichtbühne der Schachtofenanlage.

Die Leistung beträgt täglich und pro Ofen 140 Tonnen Klinker von normaler Drehofen-Qualität, bei einem Brennstoffverbrauch von 16-17% Anthrazitgrus, bzw. also 112-115.000 Wärme-Einheiten pro 100 Kg Klinker. Über die Qualität des aus diesem Schachtofen-Klinker ermahlenden Zementes bei 10-12% Rückstand auf dem Sieb mit 4900 Maschen pro cm² sei noch kurz erwähnt, dass die Festigkeiten nach den schweizerischen Normen von der Eidgenössischen Material-Prüfungs-Anstalt in Zürich geprüft folgende Werte aufweisen:

	Zugfestigkeit		Druckfestigkeit	
nach 3 Tagen ...	24	Kg/cm ²	..	350 Kg/cm ²
nach 7 Tagen ...	32-35	„	...	450 „
nach 28 Tagen ..	45-50	„	..	650-750 „

Es sind dies Ziffern, welche selbst die weltbekannt verwöhnten Qualitäts-Ansprüche der Schweizer zufriedenstellen.

Ein Teil des homogenisierten Rohmehls wird der Drehofen-Anlage System Andreas zugeführt, welche nach dem Trockenverfahren arbeitet. Die Anlage besteht im ersten Ausbau aus einem Drehofen von 2,8 Meter Durchmesser und 45 Meter Länge (Abb. 9, Seite 891).

Der Drehofen zeichnet sich durch auffallende Einfachheit aus und besteht aus einem glatt durchlaufenden Rohr ohne jeder Erweiterung. Die Abgase des Ofens werden durch eine sinnreiche Vorrichtung zur Vorwärmung und Kalzinierung der Rohmasse derart weitgehend ausgenützt, dass sie nurmehr mit einer Temperatur von 160-170° C. den Ofen verlassen. Die Kühlung des Klinkers erfolgt durch einen Schnell-Kühler System Andreas, welcher einen nur sehr kleinen Raum einnimmt und in welchem die Klinkerwärme restlos in Form von staubfreier und hochvorgewärmter Luft wiedergewonnen und dem Ofen zugeführt wird.

Die tägliche Leistung des Ofens beträgt 220-240 Tonnen, bei einem Brennstoffverbrauch von 16-17%, bzw. 106-110.000 Wärme-Einheiten pro 100 Kg Klinker. Zum Speichern des Klinkers dienen 3 grosse Eisenblech-Silos von 3000 Kubikmeter Inhalt.

Die Zementmühle besteht aus 2 Dreikammer-Verbundmühlen System Andreas von derselben Grösse wie die Rohmühle, welche pro Stunde je 30-32 Tonnen Zement mahlen, bzw. also rund 40 Kg pro Pferdekraft und Stunde. Jede Mühle ist mit einer besonderen Entstaubungsanlage ausgerüstet. Der gemahlene Zement wird in einer aus 5 Zellen bestehenden und 3000 Kubikmeter fassenden Zementsilo-Anlage gespeichert, mittels Ketten-Entleerungen entleert und der Packanlage zugeführt. Diese besteht aus 2 Ventilsack-Packmaschinen System Andreas mit je 4 Fülldüsen und einer Gesamtstundenleistung von 1600-1800 Sack, so dass also die Tages-Produktion des Werkes in 8 Stunden bequem bewältigt und expediert wird. Diese Packmaschinen wurden in der April-Nummer dieser Zeitschrift vom Jahre 1930 eingehend beschrieben.

Die ankommende Kohle, sowie der Rohgips werden in zwischen den Anschlussgleisen angeordnete Bunker entleert und nach erfolgter Vorzerkleinerung dem Gips-Silo mit 180 Kubikmeter Fassungsraum und Teller-Entleerungen, bzw. die Kohle den 4 Kohlen-Silos mit 2000 Kubikmeter Fassungsraum und ebenfalls Teller-Entleerungen zugeführt. Für den

Schachtofenbetrieb gelangt die Kohle unmittelbar zur Verwendung, während die für den Drehofenbetrieb bestimmte Kohle in einer Trockentrommel getrocknet und in einer Spezial-Verbundmühle für Kohlenvermahlung System Andreas gemahlen wird.

Zur Verdoppelung der Leistung wurden sämtliche erforderlichen Fundamente für eine zweite Hammerbrecher-Anlage, Trockentrommel, eine Rohmühle, 2 Schachtofen, einen Drehofen, eine Zementmühle etc. gleich beim ersten Ausbau fertiggestellt. Das Werk bezieht Überlandstrom von 20.000 Volt Spannung, welcher in einer eigenen Transformatoren-Station auf die Betriebsspannung von 500 Volt Drehstrom gebracht wird.

Infolge der weitgehendsten Automatisierung des Betriebes mit betriebs-sicheren Maschinen sind pro Arbeitsschicht nur 18 Arbeiter erforderlich. Die elektrische Ausrüstung des Werkes lieferten die bekannten schweizer Firmen: Brown & Boveri, Baden, Maschinenfabrik Örlikon und das Kabelwerk in Brugg.

Das Abbinden und Erhärten von Portlandzement.

von A. C. DAVIS

(BETRIEBSDIREKTOR DER ASSOCIATED PORTLAND CEMENT MANUFACTURERS, LTD.)

Das Abbinden des Zements ist noch nicht vollständig aufgeklärt; die komplexen Zementbestandteile sind noch nicht vollständig isoliert worden oder ihr individuelles Verhalten völlig festgestellt worden. Bis diese Einzelkenntnisse erlangt sind, ist jede Diskussion in starkem Masse eine hypothetische. Es ist sehr viel in den letzten Jahren über den Gegenstand geschrieben worden, und man ist der Meinung, dass der Abbindeprozess entweder auf kristallinen oder kolloiden Vorgängen oder aber auf beiden beruhe.

Die beiden Hauptschulen sind sich offenbar darüber einig, dass die Adhäsions- und Kohäsionseigenschaften von abgebundenem Zement in der Hauptsache aus der Gegenwart niedrigkalkhaltiger Verbindungen entstehen, obwohl es nicht immer zugegeben wird, dass die Hydrolyse bis zur Entstehung von hydrierter Kieselsäure geht, weil gleichzeitig mit der Kieselsäure Kalkhydrat gebildet würde, und da ziemlich schnelle Verbindung stattfindet, können die beiden Stoffe nicht lange miteinander existieren. Thomas Edison setzte einst dem Verfasser auseinander, dass er ein eifriger Anhänger der kolloiden Abbinde-theorie sei, während der hervorragende französische Chemiker Le Chatelier stets der Theorie entgegentrat, welche das Erhärten gewissen kolloiden Eigenschaften des Zements zuschrieb. Andere Fachleute verfechten ebenfalls bestimmte und sich widersprechende Ansichten. In seiner Arbeit über die mikroskopische Zergliederung der Portlandzementkonstitution, die schon 1887 veröffentlicht wurde, stellte Le Chatelier fest, dass die Hauptkomponenten des Portlandzements aus farblosen, doppeltbrechenden, würfeligen Kristallen, indessen ohne kristalline Struktur beständen. Ausserdem fand er: (a) leicht gelbliche Kristalle, die undurchsichtige waren und Streifen zeigten, (b) sehr kleine Kristalle mit starker Doppelbrechung, und (c) Materialzonen ohne Einfluss auf polarisiertes Licht.

Le Chatelier wies auch darauf hin, dass bei dem Bestreben, das Wort "kolloid" zu definieren, Graham als der Urheber der Entstehung der so benannten Körper die Existenz von zwei verschiedenen Lösungen erkannte, und dass, während Kristalle beim Lösen sich verteilen, Kolloide dieses nicht tun.

Die eine Art ergab bei der Verdampfung kristalline Körper, die Kristalle genannt werden (Seesalz, Zucker usw.), während die andere amorphe Stoffe ergab (gelartige Kieselsäure, Gummi usw.).

Zsigmondy hat mit Hilfe des Ultramikroskops nachgewiesen, dass die kolloiden Lösungen keine echten Lösungen sind sondern lediglich Suspensionen von sehr fein verteilter unlöslicher Substanz. Diese Suspensionen sind undurchsichtig, milchig oder transparent je nach der Feinheit der Struktur und nach der Menge der in der Flüssigkeit suspendierten Teilchen. Wenn ihr Durchmesser kleiner als die Wellenlänge des Lichts ist, lassen sie das Licht durchtreten, ebenso wie es dieses tut bei Sieben von begrenzter Weite. Der Durchmesser der echten Kolloide erreicht ein Millionstel eines mm und ist stets kleiner als ein Tausendstel eines mm.

Solche kolloiden Suspensionen entstehen durch sämtliche sehr kleinen unlöslichen Körper, z.B. wenn Metalle wie Platin und Silber im elektrischen Flammenbogen pulverisiert werden. Ferner: fein gebrochener Quarz, Tonerde, Kaolin und andere Mineralien; völlig unlösliche chemische Niederschläge oder endlich das gerbsaures Eisen, das zur Herstellung von Tinte benutzt wird.

Eine besondere und wichtige Eigenschaft dieser sehr kleinen Körper berechtigt ihre besondere Klassifizierung. Diese besteht nämlich darin, dass sie solche löslichen Stoffe adsorbieren, die in der Flüssigkeit gelöst sind, mit der sie befeuchtet werden. Diese Adsorption, die die Ursache von Analysenfehlern ist, tritt häufig bei chemischen Niederschlägen auf, charakterisiert aber noch nicht genau die fein verteilten Körper, da sie auch bei porösen Stoffen in Erscheinung tritt. Von diesem Gesichtspunkt müssen kolloide und poröse Körper gemeinsam klassifiziert werden. Die adsorbierende Kraft ist ein besonderer Fall von viel allgemeineren Eigenschaften, den sämtliche fein verteilte Stoffe besitzen. Chemisch verhält sich ein Stoff in Form eines unfühlbaren Pulvers ganz anders wieder der gleiche Stoff in Form grosser Brocken. Es existiert eine besondere Chemie der Kolloide und porösen Körper. Diese besonderen Eigenschaften fallen unter den sofortigen Einfluss der Oberflächenspannung.

Lange Zeit ist die Tatsache anerkannt worden, dass alle chemischen Erscheinungen direkt abhängig von den verschiedenen Energieformen wie Wärme, Elektrizität und Arbeit sind. Die chemischen Reaktionen der Verbrennung setzen Wärme in Freiheit; die Reaktionen der Batterien erzeugen Elektrizität; die Reaktionen der Explosion leisten Arbeit.

Oberflächenenergie, welche durch das Erzeugnis der Oberflächenspannung oder der Kapillartension und der freien Oberfläche eines Stoffes gemessen wird, ist im allgemeinen unendlich klein an Grösse im Vergleich zu anderen Energieformen. Das Grammmolekül des Wassers (18 g) soll die Form einer Kugel von 3,3 cm Durchmesser besitzen. In Berührung mit seinem Wasserdampf wird die Kugel eine Oberflächentension von 0,08 g per linearem Zentimeter besitzen. Da die Oberfläche der Kugel 34 qcm beträgt, so wird entsprechend ihre Oberflächenenergie $0,08 \times 34 = 2,72$ gcm betragen, oder $2,72 \times 10^{-5}$ mkg, was $6,3 \times 10^{-8}$ Kalorien entspricht. Die Verdampfung eines Grammmoleküls Wasser absorbiert nun 10 Kalorien und seine Verbindung mit Kalk setzt 10 Kalorien in Freiheit. Ihre Oberflächenenergie ist daher nur dem 1 hundertmillionsten Teile der Wärmemenge äquivalent, was vernachlässigt werden kann. Wenn anstelle einer einzelnen Kugel das Wasser in eine ungeheuer grosse Zahl kleiner Kügelchen aufgeteilt ist, so würde jedes Hundertstemillionstel eines mm ihrer Oberflächen und folglich ihre gesamte Oberflächenenergie 330 Millionen mal so gross werden und 2 Kalorien äquivalent sein. Das wäre die Oberflächenenergie von der Grösse einer Wärmemenge, die Wasser bei seinen verschiedenen

chemischen Reaktionen entwickelt. Die Oberflächenenergie wäre in diesem Falle nicht länger mehr ein zu vernachlässigender Faktor.

Was feste Stoffe in Suspensionen angeht, so gibt es keine direkte Methode zur Messung ihrer Oberflächenspannung bei der Berührung zwischen Flüssigkeit und festem Stoff. Indirekte Ueberlegungen legen nahe, dass diese Spannung hundertfach grösser werden kann als die des Wassers. Die Oberflächenenergie würde in gleichem Verhältnis gesteigert werden, und ihr Einfluss wird für Dimensionen von der Grösse eines zehntausendstel Millimeters wesentlich mehr merkbar werden als bei chemischen Niederschlägen.

Diese Ueberlegungen erstrecken sich so weit nur auf die Korngrösse ohne Berücksichtigung der grösseren oder geringeren Löslichkeit der Stoffe. Sie geben noch keine sofortige Erklärung für die gewöhnliche Unlöslichkeit der Kolloide. Ein bis auf sehr kleine Körnchen vermahlener fester Kristall wird sicherlich so lange sämtliche Eigenschaften der Kolloide besitzen, wie er seine Mahlfineinheit erhält. Er wird die letztere indessen sofort dann verlieren, wenn er mit einer Flüssigkeit in Berührung gebracht wird, die in der Lage ist, die Substanz teilweise zu lösen. Die Lösungsenergie wird durch die gesamte Oberflächenenergie des Kristalls gesteigert werden, und es wird sich eine erhöhte Löslichkeit der kleinen Kristalle ergeben. Es wird eine übersättigte Lösung entstehen, aus der sich die grösseren Kristalle sofort ausscheiden. Diese Tatsache ist sehr klar verwirklicht worden bei den sehr fein verteilten Niederschlägen von Kalzium- und Bariumsulfat. Um diese Niederschläge grobkörniger zu machen, und um zu verhindern, dass sie durch das Filter laufen, werden solche Niederschläge von der Filtration mehrere Stunden lange heiss gehalten.

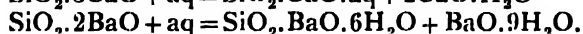
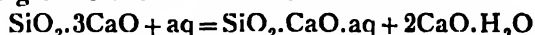
Jeder lösliche Stoff verliert selbst, wenn er in sehr fein verteilter Form vorhanden ist, in fortschreitendem Masse seine kolloiden Eigenschaften, wenn er mit einer Flüssigkeit in Berührung kommt, in der er etwas löslich ist. Seine Umwandlung wird um so schneller vor sich gehen, je grösser die Löslichkeit ist. Es können daher nur unlösliche Stoffe den extremen Zustand der Verteilung, der dem kolloiden entspricht, beibehalten. Aus dem gleichen Grunde weisen Stoffe, die von Rechtswegen als Kolloide bezeichnet werden, niemals eine erkennbar kristalline Struktur auf, weil die kristalline Orientierung eine gewisse Beweglichkeit des Materials gegenüber dem Lösungsmittel voraussetzt, sei es, dass dieses eine Flüssigkeit oder ein Gas ist.

Bei Betrachtung der Frage, ob die Produkte der Erhärtung hydraulischer Mörtel kolloide oder nicht solche sind, ist es interessant den Fall des Gipses herauszugreifen. Wenn Gips abgebunden hat, so sind selbst bei stärkster mikroskopischer Vergrösserung keine Kristalle zu erkennen. Das beweist nicht, dass sich keine Kristalle gebildet haben; vielleicht sind sie zu klein, um erkannt zu werden. Bei petrographischen Dünnschliffen von weniger als 0,02 mm Stärke kann man kaum Kristalle von weniger als 0,005 mm Durchmesser erkennen. Das Zerschneiden der weichen Masse unter dem Deckglas zerkleinert nicht auf unter 0,005 mm,—ganz zu schweigen von kolloidalen Dimensionen. Wenn feuchter hydrierter Gips sich selbst überlassen bleibt, so werden nach einigen Wochen Kristalle erkennbar, nach einigen Jahren sind sie gelegentlich mit blossen Auge sichtbar. Kristalle in erhärtendem Gips sind überdies von Anfang an sichtbar, wenn der Gips mit alkoholischem Wasser anstatt mit reinem Wasser angemacht wird. Das Abbinden wird dann verzögert, und die Kristalle können sich besser entwickeln.

Die Kalziumaluminat, die bei der schnellen Erhärtung des Zements eine bedeutende Rolle spielen, werden in gleicher Weise wie der Gips hydriert und auch sie ergeben eine weissliche Masse, in der Kristalle nicht erkennbar sind. Wenn aber, anstatt das Aluminat mit wenig Wasser anzumachen, einige

isolierte Körner in ein grosses Wasservolumen getan werden, so werden die Körner bald von langen Kristallen hydrierten Aluminats umgeben, die unter dem Mikroskop stets leicht sichtbar sind, und die gelegentlich mit blossen Auge erkannt werden können.

Nur Kalziumsilikat verursacht bei diesen Betrachtungen eine Schwierigkeit. Dieses ist von Wichtigkeit, weil das Silikat das wesentliche Element bei der Enderhärtung des Portlandzements darstellt. Das Mikroskop zeigt kein hydriertes Kalziumsilikat; seine Kristalle sind sicherlich sehr klein, doch stehen verschiedene Analogien der Verneinung seiner Existenz entgegen. Die Hydratation ist genau die gleiche wie im Falle des Bariumsilikats:



Die Kristalle von hydriertem Kalk sind deutlich wie die von Bariumhydroxyd sichtbar; sie können die Grösse mehrerer Millimeter erreichen. Bariumsilikat-kristalle kann man stets mit Hilfe einer Lupe erkennen und gelegentlich sogar mit blossen Auge. Auf Grund der Analogie kann man behaupten, dass auch hydratisiertes Kalziumsilikat kristallisieren wird; da es indessen viel weniger löslich als die Bariumverbindungen ist, werden die Kristalle zu klein sein, um erkennbar zu werden.

Es ist nicht unmöglich, dass anfänglich die Dimensionen dieser Kristalle kolloide Grösse besitzen wie im Augenblick der Bildung von Niederschlägen des Bariumsulfats und des Kalziumoxalats. Es ist in der Tat nachgewiesen worden, dass dieser Kalziumsilikatniederschlag im Augenblick seiner Entstehung eine grosse Menge Kalk absorbiert, die mit der Konzentration der Lösung schwankt. Im Laufe der Zeit müssen die Dimensionen der Kristalle beträchtlich wachsen wie in sämtlichen ähnlichen Fällen. Der mechanische Widerstand andererseits nimmt nicht mit der Zeit ab. Folglich hat der kolloide Zustand, der möglicherweise im Anfang vorhanden war, wie behauptet wird, nichts mit der Erhärtung des Zements zu tun.

Die Theorie der Zementerhärtung, welche Le Chatelier vor vielen Jahren veröffentlichte, scheint noch nicht widerlegt zu sein. Diese war folgende: Die wasserfreien Bestandteile der Zemente, die sich bei Berührung mit Wasser nicht im chemischen Gleichgewicht befinden, sind löslicher als die hydratisierten Bestandteile. Aus diesem Grunde ergeben sie die Bildung einer übersättigten Lösung, aus der der hydratisierte Bestandteil schnell auskristallisieren kann. Da nunmehr die Lösung nicht länger gesättigt ist, kann sie erneut wasserfreie Bestandteile lösen, und die gesamte Masse kann somit in fortschreitendem Masse kristallisieren, indem sie ein Stadium der vorübergehenden Lösung in einem begrenzten Wasservolumen passiert, das in jedem gegebenen Zeitpunkt nicht mehr als nur einen kleinen Teil der gesamten Menge an vorhandenen Salzen in Lösung halten kann.

Die aus den übersättigten Lösungen abgeschiedenen Kristalle erscheinen stets in Gestalt ausserordentlich langgestreckter Nadeln, die die Tendenz besitzen, sich in Kugelform um gewisse Kristallisationszentren zu gruppieren. Die Verhakung dieser Kristalle ist die einzige Ursache der Erhärtung der Masse. Sie werden miteinander verbunden, wenn die reziproke Orientierung passt. Sie hängen durch einfachen Kontakt zusammen wie alle festen Körper, wenn sie richtig aufeinander liegen.

Endlich genügt selbst bei Abwesenheit jeder Adhäsion die Reibung, um eine grosse Festigkeit hinsichtlich mechanischer Widerstandsfähigkeit zu erzeugen, so wie man es bei allen Geweben und Fabrikaten findet, deren Festigkeit keinen anderen Ursprung besitzt. Je feiner und ausgedehnter die Kristalle sind, um so zahlreicher sind die Kontaktstellen, und um so grösser ist der Reibungswider-

stand. Je grösser die Berührungsfläche ist, um so mehr ist die Adhäsion entwickelt. Das progressive Wachsen der Kristalldimensionen auf die angedeutete Weise vermehrt den Anteil, der durch die Adhäsion gebildet wird, während es den infolge Reibung vermindert.

Wenn wir uns jetzt von dieser theoretischen Ueberlegung des Abbinde-mechanismusses abwenden, so sollen einige praktische Betrachtungen von direkter Bedeutung für den Fabrikanten diskutiert werden. Abgebundener Zement enthält Kalkhydrat, und wenn, wie behauptet wird, dieses Kalkhydrat chemisch träge ist, so haben wir die anormale Situation, dass, um Festigkeit ihrer Erzeugnisse sicher zu stellen, die Zementfabrikanten gezwungen sind, den höchstmöglichen Kalkanteil, der mit Raumbeständigkeit vereinbar ist, anzustreben, während in dem resultierenden Beton ein Kalkanteil nicht erforderlich ist.

Um den höchsten mit der Erzeugung von raumbeständigem und stabilem Zement vereinbaren Kalkanteil zu erreichen, mahlen die Fabrikanten ihre Rohmaterialien mit beträchtlichen Kosten fein, und, da die Sintertemperatur hochkalkhaltiger Mischungen sehr hoch liegt, sind auch die Kosten des Brandes hohe. Es besteht also die offenbare Anomalie, dass der Zementfabrikant sein Erzeugnis mit dem Ueberschuss eines Bestandteiles belastet findet, das teuer zu manipulieren ist, und das sich schliesslich als ein Streckungsbestandteil herausstellt. Die Erzeugung von Zementen mit niedrigem Kalkgehalt hat daher die Aufmerksamkeit vieler Beobachter angezogen; da indessen die Grundlage ihrer Versuche gewöhnlich Hochofenschlacke gewesen ist mit ihrem Schwefelgehalt in Form von Sulfiden, sind solche niedrigkalkigen Zemente wegen ihres Schwefelgehaltes mit seinen bedenklichen Möglichkeiten abgelehnt worden. Die normalen Rohmaterialquellen wie Kreide, Kalkstein, Ton und Schiefer-ton können natürlich zur Herstellung von Zementen mit niedrigem Kalkgehalt verwendet werden, aber bis heute sind die Resultate nicht befriedigend gewesen.

Von denen, die viel Zeit und Arbeit an den Gegenstand gewendet haben, wird behauptet, dass die Hauptbestandteile des Portlandzements Trikalziumsilikat, Dikalziumsilikat und Trikalziumaluminat sind. Von diesen Bestandteilen ist Trikalziumsilikat die Verbindung, welche innerhalb kurzer Zeit erhärtet und die grösste Festigkeit entwickelt; es ist diejenige, welche sich am schwierigsten bildet und nur 30 bis 35% eines normalen durchschnittlichen Portlandzements ausmacht. Es kann daher sein, dass der wesentliche Prozess der Portlandzementherstellung in der Bildung dieses Bestandteils besteht, und dass jede Verbesserung in der Methode, die einen erhöhten Prozentsatz an Trikalziumsilikat ergibt, den schliesslichen Bindewert des Portlandzements erhöhen wird.

Während sich diese Betrachtungen auf Portlandzement beziehen, hat die Erfahrung mit den neuerdings zur Einführung gelangten Tonerdezementen gezeigt, dass Trikalziumsilikat nicht unumgänglich notwendig für die Herstellung eines Material ist, das ähnliche Resultate liefert. Wie bekannt ist, bestehen die Tonerdezemente aus ungefähr gleichen Mengen von Kalk und Tonerde mit geringeren Mengen an Kieselsäure und den anderen im Portlandzement gefundenen Bestandteilen. Der Abbindebeginn und das Abbindeende erfolgen in einem bestimmten Zeitraum und in einer den Portlandzementen ähnlichen Weise, doch verläuft das dann folgende Erhärten schneller unter grosser Wärmeentwicklung. Diese Hitze verursacht mögliche Schwierigkeiten, und es muss mit der Zeit noch die vergleichsweise Lebensdauer der Tonerdezementbetone unter verschiedenen Versuchsbedingungen bewiesen werden.

Seit den Anfängen dieser Industrie war es üblich, die Abbindezeit des Portlandzements durch den Zusatz von Kalziumsulfat zu regulieren und zwar gewöhnlich in Form von Rohgips beim Mahlen des Klinkers. Bei gut in Drehöfen gebrannten Klinkern kann ein Zusatz bis zu 4% des Rohgesteins

notwendig werden, um einen wirklich langsam abbindenden Zement zu erzeugen. Dieses hängt indessen teilweise von den Rohmaterialien ab und dem Grad des Brandes und der Reinheit des verwendeten Gipses. Man muss sich klarmachen, dass der Gipszusatz den Gehalt an Schwefelsäureanhydrid (SO_3) erhöht, wie bei der Zementanalyse festgestellt wird, und dass sämtliche Normen für diesen Bestandteil eine Grenze, bis zu welcher er anwesend sein darf, vorschreiben. Bei den britischen Portlandzementnormen beträgt diese Grenze 2,75%. Die Wirkung des Gipses ist bis jetzt noch nicht völlig geklärt, und es ist eine erschöpfendere Kenntnis des Abbinde-mechanismusses des Zements für ihre richtige Würdigung notwendig. Es ist wahrscheinlich, dass bei den meisten Portlandzementen der nutzbare Gehalt an SO_3 innerhalb enger Grenzen liegt. Zur Illustrierung dieses Punktes und bei der Ungeklärtheit des Abbindephänomens stellt es sich gelegentlich heraus, dass ein Gipszusatz, der ausreicht, um im Zement einen SO_3 -gehalt von 1,2% zu schaffen, keine offensichtliche Einwirkung auf das Abbinden ausübt, das momentan bleibt, während eine geringe Steigerung auf 1,3% Langsambinden hervorruft, das durch Zusatz weiterer Gipsmengen nicht in merklicher Weise noch mehr verzögert wird.

In der letzten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts war es bei den Verbrauchern üblich, den Zement zwecks Lüftung vor der Verarbeitung auszubreiten. Diese Gewohnheit war ursprünglich vorgenommen, um die Stabilität und Raumbeständigkeit durch Ablöschen jedweden freien Kalkes infolge unvollkommener Bindung in den damals gebräuchlichen Öfen zu verbessern. Dieses Verfahren hatte aber auch einen bedeutenden Einfluss auf das Abbinden des Zements durch Absorption atmosphärischer Feuchtigkeit, und von dieser Wirkung haben die Fabrikanten Gebrauch gemacht, die zur Dampfhydratation in den Mühlen während des Klinkermahlens, zur Ablagerung des Klinkers vor dem Mahlen und zum Wasserbesprengen des heissen Klinkers beim Verlassen des Ofens Zuflucht nahmen. Diese Verfahren, das Abbinden zu verlangsamen waren dort notwendig, wo sich der Gipszusatz als teilweise unwirksam gezeigt hatte, doch kann man sich nicht immer auf sie als befriedigend verlassen. Gips ist oftmals im gebrannten Zustande wirksamer als Rohgips.

Schnellbinden ist ein ausgesprochenes Kennzeichen von unbehandeltem Drehofenzement, und es muss durch diese Mittel auf die Abbindezeiten reguliert werden, die von dem Handelserzeugnis gefordert werden. Im allgemeinen gesprochen sollte eine Handelszement, wenn er rein mit Wasser angemacht wird, wenigstens eine halbe Stunde lang unverändert bleiben. Je schneller er aber nach dieser Zeit abbindet, um so besser ist es.

Der Zusatz von Gips wird praktisch in allen Normen verlangt, weil ein Zement, der in seiner Abbindezeit von einigen wenigen Minuten bis zu einigen Stunden differiert, für den Verbraucher sehr störend sein würde, während durch den Zusatz von Gips beim Passieren der Mühlenmaschinerie durch den Zement ein Erzeugnis erhalten wird, auf das man sich hinsichtlich langsamen und allgemein gleichmässigen Abbindens verlassen kann. Dieser Gipszusatz beeinträchtigt in keiner Weise die Festigkeit oder Güte des Zements.

Das Wässern oder Hydratisieren von gutgebranntem Klinker zur Regulierung der Abbindezeit ist vorteilhaft, da das Abbinden bei diesem Verfahren im allgemeinen langsam wird und der fertige Zement auf jede ungefähre Abbindezeit durch Kombinieren der Hydratation und des Gipszusatzes reguliert werden kann. Man denkt jedoch sehr leicht vom Abbinden des Zements zu genau in Stunden oder Minuten und, während ein gewisses Zeitmass für Klassifikationszwecke notwendig ist, kann ein überspannter Wert zu Differenzen von wenigen Minuten bei den Ergebnissen führen, die mit reinem Zementbrei nach dem üblichen Prüfverfahren erhalten werden. Im allgemeinen ist eine liberalere

Klassifizierung in schnell oder langsambindenden Zement ausreichend. Gelegentlich sind Zemente bekannt geworden, die frisch gemahlen langsambindend waren und beim Lagern in Schnellbinder umschlugen und hierauf entweder dieses Merkmal beibehielten oder wieder zu Langsambindern wurden. Dieses beruht wahrscheinlich auf einer mit dem Gipszusatz verknüpften Wirkung. Der letztere ist löslich und verzögert das Abbinden des Zements; wenn jedoch Kalksulfat mit Kalziumaluminat sich verbindet, so wird die verzögernde Wirkung aufgehoben, und der Zement wird eine Zeitlang rapidbindend.

Neuerdings ist ein als „falscher Abbindebeginn“ bezeichnetes Phänomen gelegentlich beobachtet worden. Der nach der gewöhnlichen Prüfmethode angemachte Brei aus reinem Zement verliert seine Oberflächenfeuchtigkeit und scheint sehr bald nach dem Anmachen das mit dem Abbindebeginn verknüpfte stumpfe und steife Aussehen anzunehmen. Er kann sogar so weit erhärten, dass die Nadel den Brei nicht mehr völlig durchdringt. Der Zement verharrt dann eine gewisse Zeit in diesem Zustande, und der Zeitraum endigt lange vor dem Abbindeende, das normalen Charakter trägt. Wird der Brei sofort neu angemacht beim Auftreten des falschen Abbindebeginns, so ist festgestellt, dass dieser nicht wieder eintritt und der Brei in normaler Weise Abbindebeginn und -ende zeigt. Man glaubt diese Erscheinung damit erklären zu sollen, dass sie von dem zur Verlangsamung des Abbindens zugesetzten Gips herrührt, der in Stuckgips verwandelt wurde durch die hohe in der Mühle erzeugte Reibungstemperatur.

Allgemein wird angenommen, dass ein rapidbindender Zement oder ein Zement, der zum Schnellbinder umgeschlagen ist, aus dem Langsambinden beim Lagern entsteht wegen der Hydratation des in ihm enthaltenen Kalziumaluminats. Ein schnellbindendes Material ist, wie angenommen wird, ein solches, das nicht abgelagert ist und als „heiss“ oder als „frisch“ bezeichnet wird. Diese Bezeichnungen sind zweifellos irreführend für den normalen Zementverbraucher. Frisch gemahlener Zement ist zwar heiss, braucht aber nicht notwendigerweise schnellbindend zu sein, noch ist rapidbindender Zement unumgänglich frisch gemahlen. Jeder Zement ist, wenn er frisch gemahlen ist, bei der Berührung heiss infolge der Reibungswärme, die während des Mahlprozesses entsteht, doch, wenn er korrekt angefertigt ist und das Abbinden reguliert wurde, wird er nicht rapidbindend.

Dringende Abrufe für grössere Portlandzementlieferungen machen es für die Fabrikanten gelegentlich notwendig, Lieferungen direkt von den Mühlen nach der Baustelle vorzunehmen. Bei Ankunft auf dieser ist der Zement bei der Berührung offenbar merklich warm, und es sind Zweifel entstanden, ob es ratsam ist, Zement in diesem Zustande zu verarbeiten. Auf Grund einer Anzahl von Anfragen zu diesem Problem führte die „Building Research Station of the Department of Scientific and Industrial Research“ einige Versuche aus, um genaue Kenntnis darüber zu erlangen, und ihr Bericht beweist, dass solcher Zement durchaus sicher sofort verarbeitet werden kann.

Wie bereits festgestellt, stammt die fragliche Wärme nicht vom Ofen sondern von der beim Mahlen erzeugten Reibung. Es wurden in einer Zementfabrik Muster gezogen, sofort nachdem der Zement die Mühle verlassen hatte mit einer Temperatur von 140° C. Zunächst wurden Versuche im Werklaboratorium mit einem, eine halbe Stunde alten Zement ausgeführt, der noch eine Temperatur von 122° C. besass, und mittels besonders konstruierter Behälter und Vakuumgefässe wurden weitere Mengen des gleichen Zements an den Mühlen gesammelt und zur Building Research Station transportiert, ohne dass ein ernstlicher Wärmeverlust eintrat, worauf die auf dem Werk ausgeführten Versuche zu verschiedenen Zeiträumen, während welcher der Zement abkühlte,

wiederholt wurden. Bei der einen Versuchserie wurde der reine Zement gerade mit der ausreichenden Wassermenge angemacht, um eine bestimmte Konsistenz zu ergeben, und es wurde mehr Wasser verbraucht, um die gleiche Konsistenz zu erreichen, wenn der Zement heiss war. Wie zu erwarten war, band der heisse Zement etwas schneller ab als der kalte infolge der beschleunigenden Wirkung der Wärme, doch erreicht dieser Wert zwischen Zement von 122° C. und 15° C. nur eine halbe Stunde für das Abbindende. Diese Differenz muss als wenig bedeutend angesehen werden.

Nach den Laboratoriumsversuchen wurde ein Abschnitt einer Betonstrasse verlegt an einer Stelle, an der zu erwarten war, dass sie eine starke Beanspruchung erfahren werde. Die Fläche war etwa 6,5 qm gross und 19 cm stark. Der 12,7 cm starke Unterbeton bestand aus einer Mischung von 1½ Teilen Portlandzement zu 2½ Teilen Kies zu 2 Teilen Ziegelschotter, und dieser Beton wurde mit steifer Konsistenz hergestellt. Die 6,3 cm starke Oberfläche war aus einer Mischung von einem Teil Portlandzement zu einem Teil zerkleinertem Grobkies zu 1½ Teilen Kies zusammengesetzt mit so viel Wasser, dass eine Masse bestimmter Konsistenz entstand. Die Temperatur des Zements kurz vor dem Mischen betrug 115° C.

Nach zwei Tagen wurde der Verkehr über die Stelle freigegeben, während der Beton in der Zwischenzeit feucht gehalten war. Nach 11 Wochen schwerer Beanspruchung wurde der Beton untersucht, und es stellte sich heraus, dass keine Risse sichtbar waren sowie irgend welche Zeichen von Zerstörung; die Oberfläche befand sich in ausgezeichneter Verfassung. Bei Mörteln aus Zement von 122° C. vor dem Anmachen, die sich auf 30° C. in der Mischung erniedrigten, betrug die mittlere Zugfestigkeit nach 28 Tagen 29,5 kg/qcm gegen 35,9 kg/qcm, wenn die Zementtemperatur und die des Mörtels zur Zeit des Mischens 15° C. war. Bei Beton war andererseits der Unterschied kleiner. Tatsächlich war die Festigkeit mit Zement von 30° C. vorm Mischen eine Kleinigkeit höher als bei den Versuchen, die bei niedrigerer Temperatur ausgeführt waren. Das Building Research Board stellte daher fest, dass die Ergebnisse der Untersuchungen anzeigten, dass die Verwendung von heissem Zement nicht eingeschränkt zu werden braucht, wenn es notwendig ist, und dieser Schluss bestätigt die von anderen seit langem gehegte Auffassung, die die Frage studiert hatten.

Mit der neuerlichen Einführung von hochwertigem Portlandzement entsteht bei den Verbrauchern oft hinsichtlich der Unterscheidung zwischen „schnellbinden“ und „schnell erhärten“ Verwirrung. Der Abbindebeginn, das Abbindeende und das Erhärten von Zement sind aufeinanderfolgende Phasen des chemischen Prozesses, der dann beginnt, wenn dem Zementpulver Wasser zugesetzt wird. Das erste Stadium, der Abbindebeginn umfasst den Zeitraum, bevor der Brei als Resultat des Abbaus und der Umgruppierung der Bestandteile zu koagulieren anfängt, was durch das Wasser herbeigeführt wird. Hierauf folgt das Abbindeende, dass dadurch gemessen wird, dass man unter Druck auf die Oberfläche eine Nadel bringt, und es wird gewöhnlich als beendet betrachtet, wenn die Nadel nur noch einen kleinen Eindruck hinterlässt.

Das Abbinden dauert von wenigen Minuten (Schnellbinder!) bis zu mehreren Stunden (Langsambinder!) je nach dem Zement. Das Erhärten setzt sich ununterbrochen indessen fort, und nach Registrierung des Abbindeendes dauern die chemischen Umwandlungen an, und der erhärtete Brei erreicht allmählich steigende Festigkeit. Diese letztere ist die Erhärungsperiode, und es ist klar, dass ein hochwertiger Zement ein solcher ist, der schnell Festigkeit und Härte erreicht.

Es können also zwei Zemente, ein normaler und ein hochwertiger, die gleiche Länge der Abbindezeit besitzen, doch wird der letztere nach 24 oder 48 Stunden

viel fester sein. Die Hydratation dieser Zemente ist durch F. O. Anderegg und D. S. Hubbell in den „Proceedings of the American Society for Testing Materials“ diskutiert worden. Sie weisen nach, wie Normenportlandzementteilchen, deren ursprüngliche Grösse 15 bis 25 Mikron war, in neun Monaten fast völlig hydratisiert waren, während die Reaktion nach 12 Monaten praktisch beendet war. Ein hochwertiger Zement schien den gleichen Grad der Hydratation nach etwa 5 Monaten erreicht zu haben. Trikalziumaluminat hydratisierte sehr schnell, da Teilchen von etwa 25 Mikron Grösse zu $\frac{3}{4}$ nach 3 Stunden hydratisiert waren. Trikalziumsilikatteilchen gleicher Grösse brauchten für einen ähnlichen Grad der Hydratation etwa 7 Tage, während Dikalziumsilikat circa 5½ Monate erforderte.

Die Entstaubung in der Zementindustrie.

Ob zu Recht oder Unrecht, so scheint die öffentliche Meinung hinsichtlich der Staubabsonderung der Auffassung zu sein, dass Kraftstationen und verschiedene Industriezweige die Hauptschuldigen sind, und folglich ist der möglichen Verhinderung von Staub in dieser Beziehung wachsende Beachtung geschenkt worden. In der Zementindustrie bieten sich zahlreiche Gelegenheiten zur gemeinsamen nützlichen Zusammenarbeit von Fabrikanten mit dem Fachmann zur Staubbiederschlagung. Typische Beispiele hierfür sind das Verhindern von auftretendem Staub an den Ofenschornsteinen, an den Mühlen und den Leistungsmaschinen. Einige Beispiele dafür, was in dieser Beziehung mit den Anlagen der Firma Davidson & Co., Ltd., Belfast erreicht wurde, dürften daher nicht ohne Interesse sein. Mehr als 500 von dieser Firma gelieferte Staubsammelungsanlagen arbeiten bereits in Kesselanlagen, Kraftstationen und Industriewerken Gross-Britanniens und des Auslands; sie sondern etwa 150000 t Staub im Jahre aus Abgasen ab, was ca. 70-95% des gesamten suspendierten Materials ausmacht. Es sind auch mehr als 400 Staubsammler zur allgemeinen Staubausscheidung in verschiedenen Industriezweigen, einschliesslich der Zementfabriken, Steinbrechanlagen und Klinkerasphalwerken in Tätigkeit.

Diese patentierten Staubsammler arbeiten nach dem Prinzip der Zentrifugalkraft, unterstützt von der eigenen Schwere des Materials, wobei je nach den Verhältnissen drei allgemeine Typen zur Anwendung gelangen nämlich die direkte Type, die Type des Nebenleitungsdrucks und die des Nebenleitungszugs. Die direkte Type besteht aus einem horizontalen Hauptgehäuse von Spiralförmigkeit, in welches auf dem Wege zum benachbarten Schornstein die gesamte Menge der staubigen Abgase aus dem Kessel tangential eintritt, und in welchem mit einem Saugzugventilator gearbeitet wird. Die Gase passieren mit grosser Geschwindigkeit, und der schwere Staub wird durch die Zentrifugalkraft nach aussen geworfen, während mit Rücksicht auf die Spiralförmigkeit sich diese ausgesprochene Absonderungswirkung allmählich in der Masse steigert, wie der Radius des Gehäuses sich verkleinert. Oben treten die entstaubten Gase durch eine Rohrleitung in den Schornstein ein, während sich unten ein konischer Auslass von grossem Durchmesser befindet, der in ein konisch vertikales Rohr von erheblicher Länge mündet, das in eine geschlossene Staubkammer führt. Auch die Schwerkraft wirkt auf die Teilchen, was weiter durch die konische Form des Bodens unterstützt wird, und da das Material kontinuierlich nach unten wie nach aussen getrieben wird, passieren viele der kleinsten und leichtesten Teilchen mehrmals in Spiralförmigkeit hindurch.

Die Typen des Nebenleitungsdrucks und des Nebenleitungszugs, von denen die eine von der Entleerungsseite und die andere von der Saugzugseite betrieben

werden, sind Modifikationen des direkten Typs. Nur ein Teil der Kesselgase passieren bei ihnen den eigentlichen Staubsammler. Mit anderen Worten die zentrifugale Ausscheidung erfolgt in zwei Phasen, erstens mittels eines primären, spiralförmig um den Schornstein oder erforderlichenfalls getrennt angelegten Staubsammlers und zweitens mittels eines sekundären Sammlers, der einen kleinen direkten Typ darstellt und der die äusseren Gasmengen erfasst, die durch einen tangential angelegten vertikalen Schlitz herausgenommen sind und praktisch den gesamten Staub enthalten, der aus dem Primärsammler abgeleitet wurde. In diesem sekundären oder kleinem direkten Sammler wird wie üblich der gesamte Staub zurückgewonnen, während die staubfreien Gase, ebenso wie die vom Primärsammler in den Schornstein entweichen.

Ein wichtiger Punkt in Verbindung mit diesen Sammlern besteht darin, dass die Temperatur der Gase nicht erniedrigt wird und dass keine Wasserver-sprühung zur Anwendung gelangt so, dass die Belästigung durch Ablagerung eines schmutzigen sauren Regens in der Nachbarschaft des Schornsteins oder der Rauchfänge vermieden wird.

Ein typisches Beispiel der „Sirocco“-Staubsammler der Firma vom Neben-leitungsdruckprinzip besteht in der Installation auf einer bekannten Zement-fabrik, die zwei Drehöfen von je 60 m Länge und 2,75 m Durchmesser besitzt und nach dem Nassverfahren betrieben wird. Für jeden Ofen ist ein „Sirocco“-Saugzuggebläse von 2,23 m Durchmesser vorgesehen, das eine Leistungsfähigkeit von 2000 cbm per Minute gegen einen Wassersäulendruck von 5,7 cm bei einer Temperatur von 400° C besitzt und durch einen direkt gekuppelten 75 PS starken Motor von regulierbarer Geschwindigkeit getrieben wird. Die allgemeinen Betriebsbedingungen sind etwa folgende: 7 kg heisse Gase per kg hergestelltem Klinker bei einer Maximalofenleistung von 8,5 t stündlich; das tatsächliche Volumen beträgt per Minute etwas über 1900 cbm, während wöchentlich 3000 t Zement hergestellt werden.

Jeder der beiden Schornsteine, einer für jeden Ofen, ist bei einer Höhe von 23 m mit einem Nebenleitungsdrucksammler ausgerüstet. Der Durchmesser der Schornsteine beträgt 2,60 m und besitzt eine innere Ziegelauskleidung von 11,5 cm, während unter normalen Betriebsverhältnissen beim Brennen von 8 t Klinker stündlich, 75 kg Staub per Stunde gesammelt werden. Dieser Staub befindet sich in einem ausserordentlich fein verteiltem Zustande; er liefert durchschnittlich einen Rückstand von 17,32% auf dem Siebe von 6200 Maschen/qcm, und 82,52% passieren das Sieb von 6200 Maschen/qcm und 49,26% ein solches von 16400 Maschen/qcm. Das Gewicht per cbm beträgt 1,11 g, während die aus den Staubsammlern in die Schornsteine entweichenden Gase völlig rein sind.

Die Packanlage, welche mit drei Bates-Doppelpackern ausgerüstet ist, von denen jeder in der Lage ist, stündlich 25 t Zement in 50 kg Papiersäcken abzupacken, besitzt „Sirocco“-Staubsammler vom direkten Typ, die den an die Luft abgegebenen Staub eliminieren und das Gebäude hinsichtlich Ventila-tion und Staubbefreiheit in gutem Zustande erhalten. Der durch diese Sammler abgeschiedene Staub der Packanlage befindet sich im Zustande ausserordent-lich feiner Verteilung. Er besitzt auf dem 6200-Siebe einen Rückstand von 5,125%, während 94,57% dieses Sieb passieren und 25,8% das Sieb von 16.400 Maschen passieren.

Die Abbildungen der Anlage sind folgende: Abb. 1 (Seite 902) Staubsamm-ler in Betrieb bei einem Drehofen, eine Tonne Staub stündlich abscheidend; Abb. 2 (Seite 903) Ähnlicher Staubsammler, der 914-1016 kg Staub per Stunde abscheidet; Abb. 3 (Seite 904) Staubsammler über der Staubkammer; Abb. 4 (Seite 905) Im Packgebäude installierte Staubsammler.

PRE-CAST CONCRETE

❑ If you are interested in pre-cast concrete manufacture you probably have a copy of "Concrete Products and Cast Stone," by H. L. Childe.

❑ This book has now been replaced by an entirely new volume, but entirely re-written and brought up-to-date. The four years that have elapsed since the first edition was written have witnessed revolutionary changes in methods of manufacture, quality of product, and methods of reducing costs. All these developments are clearly explained in the new edition just published.

❑ The size of the volume has been increased to 354 pages. There are no fewer than 265 illustrations in the text, and colour plates of reconstructed stone.

❑ All the available information on pre-cast con-

crete, from tiles to architectural cast stone, is included.

❑ The essentials of selection of materials, grading and proportioning, mixing, curing, etc., are fully covered. All the generally used methods of surface treatment (and many new ones) are described and illustrated in colour and half-tone, and the methods of making coloured concrete are explained. Various surface textures are illustrated, and the methods of obtaining them described.

❑ The design and manufacture of moulds for all types of concrete products and all shapes of cast stone are dealt with at length, the descriptions of the best and simplest moulds for each type of product being illustrated by more than 100 working drawings and illustrations of moulds in wood, plaster, sand, gelatine, concrete, etc. Suitable proportions of cement and aggregate are given for all products.

From
CONCRETE PUBLICATIONS, LTD., 20, DARTMOUTH STREET, WESTMINSTER, S.W.1.

Price 6/- net.

6/6, by post, anywhere in the world

HOW MONEY IS SAVED ON FORMWORK

Some appreciations from users of "DESIGN AND CONSTRUCTION OF FORMWORK FOR CONCRETE STRUCTURES," by A. E. WYNN, B.Sc., A.M.Am.Soc.C.E. 320 pp. 171 illustrations. Gives complete designs for Formwork for every type of concrete structure, from simple footings to arch bridges, with tables from which sizes and quantities of timber for any type or size of construction may be seen at a glance. Published by Concrete Publications, Ltd., 20, Dartmouth Street, London, S.W.1. Price 20/- (postage 9d. extra):—

From **J. & W. STEWART,**
Contractors, LONDON.

"This appears to be one of the most comprehensive books ever published on formwork. The constructions suggested are simple, and should prove very economical. There are a number of useful tables which should enable shuttering to be speedily designed, as it appears that calculations can be entirely done away with. The author has not only dealt with design, but gives the benefit of his obviously extensive experience in actual construction."

From **THE YORKSHIRE HENNEBIQUE CONTRACTING CO., LTD., DUNDEE.**

"We consider this book very useful indeed, especially to contractors, engineers, and foremen. Chapters I and II on formwork generally, are of valuable interest to all who have to do with reinforced concrete work." *Write for Detailed Prospectus.*

From **ROBERT COLHOUN,**
Builder, LONDONDERRY.

"This book should be in the hands of every builder and contractor, and it should also be a text book in technical schools. I have obtained much useful information from it which has helped to simplify the construction of shoring and temporary work. The section dealing with costs seems very satisfactory and quite within the experience of actual fact."

From **J. B. JOHNSON & CO.,**
Builders, LIVERPOOL.

"We consider this publication a very comprehensive work which should be studied by all concrete contractors. The portion devoted to the theory and design of strength of centring is especially valuable."



El horno rotatorio en la fabricación del cemento.—X.

Por W. GILBERT.

Secador sin cámara de ladrillo (a contracorriente).—(134) Habiéndose comprobado que el efecto de la cámara de obra de fábrica sobre el régimen de transmisión del calor al carbón es relativamente escaso, examinaremos ahora el funcionamiento del secador en el caso de suprimirse la cámara de ladrillo y de no ser aplicado calor alguno por la parte exterior de la cubierta o envolvente del secador. Este tipo de secador se emplea para desecar gran variedad de materias, en la práctica.

En la figura 40 (véase pág. 871) se indica en un diagrama esta disposición. La envolvente A tiene 1,524 m. de diámetro, por 12,80 m. de longitud, medida sobre los hierros angulares como precedentemente: La caperuza de alimentación está marcada con la letra B y el tubo de entrada del carbón, con la C. El aire o los gases calientes entran, a la temperatura de $371,1^{\circ}\text{C}$. por el tubo E en la caperuza de descarga D; El calor puede tomarse sea de un horno rotatorio, sea de un hogar independiente. El carbón es descargado en F. El secador está construido con arreglo al modelo de contracorriente, esto es, de manera que el carbón recorra el secador en sentido contrario al de los gases calientes. La producción es, como antes, de 5 toneladas (5080 kgs.) por hora, calculadas a base de carbón seco, y partiendo de que el carbón lleva a su entrada un 15% de humedad.

(135) El diagrama de temperaturas últimamente obtenido es el que se representa en la figura 41 (véase pág. 872). El intervalo de variación de la temperatura de los gases es de $371,1^{\circ}\text{C}$. hasta $71,1^{\circ}\text{C}$. y el de las temperaturas del carbón de $15,6^{\circ}\text{C}$. a $148,9^{\circ}\text{C}$. como precedentemente. También figura en el gráfico una curva que indica la temperatura en todos los puntos de su longitud. El calor se transmite principalmente de manera directa desde el gas al carbón que cae en cascada; no obstante una parte del mismo es transmitida de los gases a la envolvente. La envolvente, a su vez radia algo del calor que recibe hacia el carbón, y el resto se dispersa hacia el aire ambiente desde la superficie exterior.

El calor es transmitido en las proporciones siguientes :

			%
(a)	Directamente desde los gases al carbón	... ..	92,8
(b)	Desde los gases a la envolvente	... ..	7,2
			100,0
			—
El calor suministrado a la envolvente se subdivide a su vez en :			
(c)	Radiación desde la superficie interior de la envolvente al carbón	... ..	%
			1,1
(d)	Pérdida desde la superficie exterior hacia la atmósfera		6,1
			—
			7,2
			—

La omisión de la cámara de ladrillo aumenta la pérdida por radiación desde la envolvente, desde un 2,4 a un 6,1% (véase (112)); la cantidad total es, sin embargo, pequeña.

(136) **Calor requerido por minuto.**—Según el párrafo (115) el calor requerido para desecar el carbón es de 13 039 kilo-calorías; a ésto debe agregarse la pérdida por radiación desde la envolvente que es de 848 kilo-calorías (según se calcula mas tarde), y se obtiene así un total de 13,887 kilo-calorías. Como el salto de temperatura es de 300° C. el peso de gases que por minuto se requiere será :

$$\frac{13,887}{300 \times 0,24} = 192,5 \text{ kgs.}$$

*(137) La longitud de 12,80 m. se ha dividido en seis partes como anteriormente. Los puntos necesarios para poder proceder a los cálculos, son los mismos en general, que los enumerados en el párrafo (121). Los detalles son los siguientes :

(a)	Valor W en el interior de la envolvente	$= \frac{192,5 \times 60}{1,825}$	$= 6348$
(b)	Valor correspondiente de Hc para la transmisión del calor entre el gas y el interior de la envolvente	...	9,76
(c)	Valor de Hc para la transmisión de calor entre los gases y el carbón de grado VIII, (véase 114)	...	109,9
(d)	Superficie de la envolvente para una longitud de 2,134 m.	...	10,22 m ²
(e)	Superficie del carbón que cae en cascada en una longitud de 2,134 m. : se admite que es de 2,134 $\times 4,57$	...	$= 9,75 \text{ m}^2$

(138) En las fórmulas que siguen, los símbolos gTi , gTr , cTi , cTr , Qr , S , Td , y Hc tienen los mismos significados que se les han asignado en el párrafo (126), y además :

Qs =pérdida de calor desde la superficie exterior a la atmósfera.

El calor transmitido al carbón en una longitud de secador de 2,134 m. será ahora de :

$$Qr + \frac{Hc \times S \times Td}{60} = Qr + \frac{109,9 \times 9,75 \times Td}{60} = Qr + 17,87 Td.$$

El calor cedido por los gases en cada sección es pues :

$$17,87 Td + Qs + Qr.$$

Procediendo, en líneas generales, como en el (128), se hallará :

$$gTr = 0,43 (gTi - cTi) + \frac{Qs}{38,1} - \frac{Qr}{41,6} \dots\dots\dots (17)$$

$$y \ cTr = \frac{gTr}{2,12} - \frac{Qs}{98,0} \dots\dots\dots (18)$$

(139) El detalle de las cifras relacionadas con esta transmisión de calor figura en la Tabla XIII. Para empezar se trazan de manera provisional en la Fig. 41 (véase pág. 872) las curvas de temperatura de los gases y el carbón, partiendo de las posiciones conocidas de las temperaturas inicial y final. La línea (a) en la Tabla, corresponde a la sección (a) del gráfico.

El método seguido para llenar los huecos de la línea (a) es el siguiente :

Las columnas (1) y (2) : dan los valores de gTi y cTi fijados de antemano.

Columnas (3) y (4) : Las temperaturas medias están tomadas de las curvas provisionales del gráfico.

Col. (5) : La temperatura media de la envolvente tiene que ser fijada arbitrariamente. Si está acertada, la cantidad que resulte en la col. (6) será igual a la suma de las cantidades que figuran en las columnas (7) y (8).

Col. (6) : Diferencia de temperaturas, según resulta de las columnas (3) y (5) ; es de $83,9^\circ - 45^\circ = 38,9^\circ \text{ C.}$ Empleando los valores dados en (137),

(b y d), el calor que pasa de los gases a la envolvente será :
$$\frac{9,76 \times 10,22 \times 38,9}{60} = 64,8 \text{ k-cal.}$$

Col. (7) : Para la temperatura media de la envolvente dada en la col. (5) el calor dispersado desde la envolvente a la atmósfera se tomará de la Tabla IV, párrafo (11). La pérdida de calor en k-calorías por metro cuadrado y por hora es de $179 + (7,3 \times 9,91) = 250,7$

$$y \text{ por consiguiente } Qs = \frac{250,7 \times 10,22}{60} = 42,8.$$

Col. (8) : Calor radiado desde la envolvente al carbón. Tenemos :

Temperatura absoluta de la envolvente = $273 + 45 = 318^\circ \text{ K.}$

Temperatura absoluta del carbón = $273 + 21 = 294^\circ \text{ K.}$

y por consiguiente

$$Qr = \frac{10,22}{60} \times 45,6 \frac{(318^4 - 294^4)}{10^8} = 21,42.$$

Col. (9) : La cantidad que figura en la columna (9) es casi igual a la de la col. (6), demostrando así que el valor adoptado para la temperatura media de la envolvente en la col. (5) es acertado.

Columnas (10) y (11) : La elevación de la temperatura de los gases (gTr) y la elevación de la temperatura del carbón (cTr) en la sección de 2,134 m. de longitud están calculadas por medio de las fórmulas (17) y (18), párrafo (138), tomándose los valores de gTi , cTi , Qs y Qr de la línea (a).

Col. (12) : La temperatura de los gases al final de la sección de 2,134 m. está obtenida sumando las cifras de las columnas (1) y (10).

Col. (13) : La temperatura del carbón al final de la sección de 2,134 m. (cTe) se encuentra sumando las cifras de las columnas (2) y (11).

Puede ahora efectuarse otra comprobación de la exactitud de las cifras de la línea (a).

TABLA XIII.

SECADOR ROTATORIO DE ENVOLVENTE SENCILLA, A CONTRACORRIENTE.

Todas las cantidades de calor están expresadas en kilo-calorías. Todas las temperaturas, en grados centígrados.

Sección de la envolvente.																
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	
(a)	71,1	15,5	83,8	21,1	45,-	64,8	42,8	21,4	64,2	25,5	11,5	96,6	27,1	62,7	1121	
(b)	96,6	27,1	112,7	34,4	58,3	90,7	66,5	24,4	90,9	32,2	14,6	128,8	41,7	78,3	1399	
(c)	128,8	41,6	149,5	51,1	73,3	126,5	98,3	26,7	125,0	40,7	18,2	169,6	59,9	98,4	1756	
(d)	169,6	59,9	195,5	71,6	92,2	172,4	143,9	28,5	172,4	51,6	22,8	221,2	82,7	123,9	2215	
(e)	221,1	82,7	253,9	97,2	113,8	233,1	204,1	28,5	232,6	65,6	29,4	286,7	112,1	156,7	2797	
(f)	286,7	112,1	328,3	130,5	140,5	312,5	292,3	21,2	313,5	83,3	36,3	370,-	148,4	197,8	3533	
	—	—	—	—	—	1000,0	847,9	150,7	998,6	298,6	132,8	—	—	—	12821	

Al deducir las fórmulas (17) y (18), párrafo (138), se supuso que $gTa = gTi + \frac{1}{2}gTr$, y también que $cTa = cTi + \frac{1}{2}cTr$. Sustituyendo los valores de la línea (a) tendremos:

$$gTa = 71,1 + \frac{25,5}{2} = 83,9$$

$$cTa = 15,5 + \frac{11,5}{2} = 21,1.$$

Estos resultados tienen que confrontar con los valores provisionales adoptados en las columnas (3) y (4) como efectivamente lo hacen; así pues, la línea (a) está bien. Si las cifras de las columnas (3) y (4) no confrontaran bien, deberían ser sustituidas por los números 83,9 y 21,1 que se acaban de hallar, volviendo luego a recalcular la línea (a).

Col. (14): Es el resultado de $gTa - cTa$, según los datos de las col. (3) y (4), una vez que se ha comprobado que tales cifras están bien.

Col. (15): Según el pár. (138) el calor transmitido del gas al carbón es de 17.87 Td:

(140) Para empezar la línea (b) de la tabla se copian las cifras de las col. (12) y (13) de la línea (a) en las columnas (1) y (2) de la línea (b) y luego se procede a calcular el resto de la línea (b) de la misma manera que se ha procedido con la (a).

En la línea (f) de la Tabla XIII se puede observar que la temperatura de los gases alcanza solo 370° C. en lugar de los 371,1° C. y la temperatura del carbón, los 148,4° C. en lugar de los 149° C. Según las columnas (8) y (15) el calor total recibido por el carbón es de $12821 + 151 = 12972$ kilo-calorías contra 13039 que son las que requiere el párrafo (115). Así pues la superficie de 4,57 m² por metro lineal asignada en el párrafo (137) como superficie del carbón que cae en cascada (línea (e)), es satisfactoria.

Diagrama de intercambios de calor: caso de contracorriente.—(141) El diagrama de intercambios de calor que ahora resulta muy sencillo es el que se vé en la fig. 42 (véase pág. 875). El área ABCD representa el calor total suministrado al carbón; la porción del mismo transmitida por radiación desde la envolvente al carbón es demasiado pequeña para ser indicada por separado, en el diagrama. La superficie DCFE representa el calor perdido desde la envolvente hacia la atmósfera. Una ordenada, por ejemplo, trazada a una distancia de 10,40 m. del extremo A, indica que en este punto el régimen de calor transmitido al carbón es de 1437 k-calorías por metro lineal de secador por minuto y la pérdida por radiación de la envolvente es de 111,5 k-calorías por metro lineal por minuto.

(142) **BALANCE TÉRMICO.**
(Cantidades por minuto.)

Estableciendo la comparación con el balance térmico dado en el párrafo (132) las kilo-calorías de las líneas (a) y (b) siguen siendo las mismas que antes.

	Kilo-calorías.	%
(a) Para elevar la temperatura del carbón	3725	22,60
(b) Para evaporar el agua	9314	56,60
(c) Pérdida por radiación de la envolvente, tabla XIII	848	5,20
(d) Pérdida con los gases de escape 192,5 (71,1 - 15,5) × 0,24	2576	15,60
	<hr/> 16457 <hr/>	<hr/> 100,00 <hr/>

Como se vé el 56,6% del calor se invierte en evaporar el agua, contra el 59,0% que figuraba en el párrafo (132). En otras palabras, el calor adicional es el que equivale a 5,4 kgs. de carbón tipo por hora que habría que agregar al hogar o al horno.

Resultado de la investigación.—(143). De las figs. 38 y 41 se desprende claramente que si el secador no se halla provisto de cámara de ladrillo, la temperatura de la envolvente es considerablemente mas baja y habrá por consiguiente menor pérdida de materia volatil y peligro mucho menor de que se estropee la envolvente por efecto del calor.

Se indica en el párrafo (130) que el dispositivo de los hierros angulares para remover el carbón de manera que caiga en cascada, indicado en la fig. 31 es mas que suficiente para proporcionar al carbón la superficie de desecación de 4,57 m² por metro lineal que resulta ser necesaria. Sería muy poco difícil duplicar o triplicar la cantidad de carbón que se halla cayendo en cascada en un instante determinado con solo aumentar el tamaño y número de ángulos elevadores, o incrementando la velocidad del secador. Por consiguiente, suponiendo que en el horno se quema el polvo de carbón, directamente a la salida del secador, bastará un tambor de la tercera parte de longitud, suprimiéndose asimismo la cámara de ladrillo.

Secador sin cámara de ladrillo (Corrientes paralelas).—(141) En este tipo de secador los gases corren en la misma dirección que el carbón. Tiene la ventaja de que las partículas finas del carbón que se secan facilmente son arrastradas y es favorecido su avance longitudinal por la corriente de gases, con lo cual los trozos mayores tienen mas oportunidad para desecarse. Los gases calientes son suministrados por la misma caperuza de alimentación del secador y entran en la envolvente por el orificio a través del cual pasa el tubo a la tolva de alimentación. Los gases fríos y el carbón son extraídos por la caperuza de descarga.

Se ha planteado un ejemplo en los mismos términos que antes. La envolvente tiene 1,524 m. de diámetro y su longitud medida sobre los ángulos elevadores es de 12,80 m. siendo la producción de 5 toneladas (5080 kgs.) por hora (a base de carbón ya seco) y partiendo de carbón que contenga un 15% de humedad. La cámara de obra de fábrica se halla suprimida.

En la fig. 43 se da un diagrama de la distribución de temperaturas. Como quiera que el carbón sale del secador a 149° C. los gases tendrán que salir a una temperatura algo mas elevada aun. De momento y con caracter provisional se ha adoptado un salto de temperatura desde los 460° C. hasta los 160° C. o sea un total de 300° C. lo mismo que antes. La superficie del carbón que cae en cascada por metro lineal se ha adoptado igual a la de la envolvente del secador: 4,79 m² en nuestro ejemplo.

(145) *Calor requerido por minuto.*—El calor necesario para desecar el carbón es de 13.039 kilo-calorías (párrafo (115)); a él hay que añadir la pérdida por radiación de la envolvente que es de 1256 kilo-calorías segun se ha determinado últimamente, lo cual hace un total de 14.295. Por consiguiente el peso de gases por minuto será de

$$\frac{14.295}{300 \times 0,24} = 198,6 \text{ kgs.}$$

y el valor de *W* será:

$$\frac{198,6 \times 60}{1,825} = 6539.$$

Hc: para los gases y la envolvente se ha adoptado 9,76 como anteriormente conservando el valor de 109,9 para el *Hc* entre el carbón y los gases. La

TABLA XIV.

SECADOR ROTATORIO DE ENVOLVENTE SINCLILLA, Y CORRIENTES PARALELAS.

Todas las cantidades de calor están expresadas en kilo-calorías. Todas las temperaturas, en grados centígrados.

Sección de la envolvente.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
	Temperatura inicial de los gases (gT_i).	Temperatura inicial del carbón (cT_i).	Temperatura media de los gases (gT_a).	Temperatura media del carbón (cT_a).	Temperatura media de la envolvente (eT_a).	Calor transmitido del gas a la envolvente.	Pérdida de calor al exterior desde la envolvente (Q_s).	Calor radiado desde la envolvente al carbón (Q_r).	Suma de las col. (7) y (8) ($Q_s + Q_r$).	Descenso de la temperatura de los gases (gT_f).	Elevación de la temperatura del carbón (cT_f).	Temperatura final de los gases (gT_f).	Temperatura final del carbón (cT_f).	Diferencia de temperaturas entre el gas y el carbón (T_d).	Calor transmitido del gas al carbón ($18,7 T_d$).
(a)	460,0	15,5	388,3	48,8	137,2	418,3	280,9	137,8	418,7	143,9	66,1	316,1	81,7	339,5	636,3
(b)	316,1	81,6	277,7	98,8	120,5	261,5	225,5	38,1	263,6	76,7	34,4	239,4	116,1	178,9	335,2
(c)	239,4	116,1	218,8	125,0	112,2	177,7	200,5	-24,2	176,3	41,1	17,8	198,3	133,9	93,8	175,8
(d)	198,3	133,8	187,2	138,3	108,3	131,-	189,5	-58,2	131,3	22,2	8,9	176,1	142,8	48,9	915
(e)	176,1	142,7	170,0	145,0	106,1	106,3	182,7	-77,1	105,6	12,2	3,9	163,8	146,7	25,-	468
(f)	163,8	146,6	160,5	147,2	104,4	93,5	177,9	-84,9	93,-	7,2	1,7	156,6	148,3	13,3	249
	—	—	—	—	—	1188,3	1257	-68,5	1188,5	303,3	132,8	—	—	—	1310,5

superficie del carbón que cae en forma de cascada por cada sección de 2,134 m. de longitud es de $2,134 \times 4,79 \text{ m}^2 = 10,22 \text{ m}^2$; por consiguiente el calor transmitido desde el gas al carbón será:

$$\frac{109,9 \times 10,22}{60} = 18,71 \text{ Td}$$

(en kilo-calorías por minuto y por cada sección de 2,134 m. de longitud de la envolvente, como anteriormente).

(146) La transmisión del calor está calculada en la Tabla XIV. La línea (a) se refiere al extremo del secador por donde entra el carbón, como anteriormente, y en la fig. 43 (véase pág.) se verá que ahora hay que tener en cuenta un descenso en la temperatura de los gases (gTf).

Procediendo como en el párrafo (128) se hallará que

$$gTf = 0,305 (gTi - cTi) + \frac{Qs}{56,24} + \frac{Qr}{61,24} \dots \quad (19)$$

y también

$$cTr = \frac{gTf}{2,06} - \frac{Qs}{98,00} \dots \quad (20)$$

Después de trazar unas curvas provisionales de las temperaturas de los gases y del carbón en la fig. 42 (pág. 875) el cálculo prosigue de manera semejante a la descrita en la Tabla XIII.

El area o superficie adoptada para el carbón que cae en cascada resulta hallarse prácticamente acertada ya que la temperatura de los gases desciende hasta $156,6^\circ \text{C}$. col. (12) y la temperatura del carbón sube hasta $148,3^\circ \text{C}$. col. (13). El calor transmitido desde los gases al carbón es de 13.105,2 kilo-calorías por minuto, col. (15); de esta cifra se deduce el calor radiado desde el carbón a la envolvente, col. (8), que nos da el calor efectivamente transmitido al carbón por minuto y es:

$$13.105 - 68 = 13.037 \text{ kilo-calorías.}$$

Esta cifra es comparable con la de 13.039 kilo-calorías que es la cantidad necesaria [véase el párrafo (115)].

En la fig. 43 (v. pág. 878) se observará que en las dos primeras secciones de 4,25 m. la envolvente radia calor hacia el carbón, pero en las restantes del secador es el carbón el que radia calor hacia la envolvente

(147) **BALANCE TÉRMICO EN EL CASO DE CORRIENTES PARALELAS.**

(Cantidades por minuto).

	kilo-calorías	%
(a) Para elevar la temperatura del carbón	3.725 ...	17,6
(b) Para evaporar humedad	9.314 ...	44,0
(c) Pérdida por radiación de la envolvente		
Tabla XIV	1.256 ...	5,9
(d) Pérdida con los gases de escape 198,6		
$(160 - 15,5) \times 0,24$	6.887 ...	32,5
	<hr/> 21.182 <hr/>	<hr/> 100,0 <hr/>

La mayor pérdida con los gases de escape, en este ejemplo, reduce el rendimiento en evaporación del secador, pero en el caso en que la descarga pasa al horno, la pérdida de la línea (d) queda recuperada en gran parte.

Diagrama de intercambio de calor: corrientes paralelas.—(148) El régimen de intercambio de calor en el caso de corrientes paralelas es el indicado en la

Fig. 44 (véase pág. 880). El calor cedido por los gases al carbón por metro lineal de secador puede ser obtenido para la posición o punto en que se desee trazando una ordenada desde la base AB, hasta la curva CD. A los 61 cms. de la entrada el régimen resulta ser de 1015 kilo-calorías por minuto. Las ordenadas trazadas hasta llegar a la curva de trazo interrumpido EF indican el régimen efectivo de calor realmente cedido al carbón, cuando se tiene en cuenta también la radiación entre el carbón y la envolvente. Las ordenadas trazadas hasta llegar a la curva GH, desde la base AB, dan el calor perdido desde la superficie exterior de la envolvente.

Resultado de la investigación.—Refiriéndonos de nuevo a la fig. 44 (véase pág. 880), como quiera que la pérdida con los gases de escape es recuperada en el horno no tiene verdaderamente importancia ni interés el prolongar el secador mas de 8,53 m. y aun esta longitud de 8,53 m. puede ser reducida a la mitad o a la tercera parte si se aumentan convenientemente la superficie del carbón que cae en cascada, y la velocidad de rotación del secador [véase párr. (143)]. Puede bastar una longitud de unos tres metros medida en los hierros angulares elevadores.

Sumario.—(149) Las diferentes cifras que hacen referencia a los tres tipos de secador estudiados se exponen en la Tabla XV.

TABLA XV.

Tipo de secador.	Intervalo de temperatura de los gases. °C.	Intervalo de temperatura del carbón. °C.	Carbón por minuto (seco). Kgs.	Gases por minuto. Kgs.	W en el interior de la envolvente.	Hc del gas al carbón (grado VIII).	Perdida exterior por radiación, en kilo-calorías por minuto.	Superficie del carbón que cae en cascada, en m ² por metro lineal.
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Cámara de ladrillo—Contracorriente	371,1—71,1	15,5—149	84,6	185,3	6098	109,9	321	5,03
Envolvente sencilla—Contracorriente	id.	id.	id.	192,5	6348	id.	848	4,57
Envolvente sencilla—Corrientes paralelas ..	460—160	id.	id.	198,6	6539	id.	1256	4,79

Los métodos que dejamos expuestos para la obtención del régimen de transmisión del calor en los secadores de carbón son aplicables a los secadores de primeras materias, y asimismo a los enfriadores del clinker que sale de los hornos rotatorios. Como resultado de largos estudios se han determinado valores de Hc adecuados para diversos tamaños o grados del clinker, y para diversos valores de W. Se verá mas adelante lo eficaz que es el sistema de la remoción en cascada del clinker de horno rotatorio para producir su enfriamiento.

Futuros progresos en la fabricación del cemento.

por RUDOLPH ZOLLINGER.

Al comparar el horno vertical con el horno rotatorio observamos la superioridad del horno vertical para el caso de pequeñas capacidades de producción. A medida que la capacidad de producción va aumentando, el margen de beneficio suministrado por los dos procedimientos se va igualando, y finalmente, en el caso de grandes capacidades de producción el horno rotatorio ofrece mayores ventajas. Dejemos aparte la cuestión de la amortización del capital invertido (que se consigue más fácilmente en el caso de una fábrica pequeña y que favorece, por consiguiente, al horno vertical, siempre más económico), y estudiemos los puntos correspondientes a jornales y a consumo de energía. Cuanto mayor es la fábrica, más favorablemente situada se encuentra desde estos puntos de vista. El consumo de energía no aumenta proporcionalmente a la masa que hay que mover (es decir, con el tamaño de la máquina); de modo que, duplicando la capacidad de producción de una fábrica de cemento no resulta necesario o duplicar también la potencia requerida, y suele bastar con un aumento mucho más moderado. En lo tocante a los jornales, este aspecto es todavía más favorable, porque un encargado de un molino lo mismo puede vigilar un molino de 20 toneladas de producción por hora que uno de 2 toneladas.

Los jornales y la potencia requerida son iguales para ambos tipos de fábrica, en lo concerniente a molturación, transporte, etc. No sucede lo mismo, sin embargo, con el horno. El horno rotatorio puede ser considerado en este particular como semejante a un molino tubular; en cambio, el horno vertical tiene un límite superior para su capacidad de producción. La presión del aire que en él se emplea tiene que ir aumentando en gran medida al crecer la capacidad de producción, y esto implica un aumento en el consumo de energía de tal importancia que, el rebasar el límite de una determinada capacidad de producción, la explotación del horno no puede dar ya resultados económicos. En tal caso, si se desea aumentar la producción por encima de esta capacidad límite, se hace indispensable instalar un segundo horno. La producción límite del horno vertical es de unas 120 toneladas. Por consiguiente, para producir 360 toneladas de cemento diarias (que viene a ser lo que se exige de un horno rotatorio), se necesitarán tres hornos verticales. En el horno rotatorio el personal no habrá tenido necesidad de ser aumentado, pero en cambio, con los hornos verticales el personal habrá tenido que ser triplicado, o por lo menos duplicado en los casos más favorables.

Así, pues, el sistema caracterizado por una mayor economía térmica tiene una capacidad de producción limitada, y el horno cuyo balance térmico es más desfavorable resulta más ventajoso, debido a que su capacidad de producción puede ser incrementada hasta valores mucho más altos. Por esta razón las fábricas de cemento grandes adoptan el horno rotatorio, debido a que el mayor consumo de combustible se encuentra compensado sobradamente por otras ventajas.

Existe otro factor suplementario que presta al horno rotatorio de gran capacidad de producción una nueva ventaja, y es el aprovechamiento del calor perdido. No obstante, esto solo resulta económico en las grandes fábricas; las tentativas para instalar calderas de recuperación de calor en fábricas pequeñas han venido siempre a confirmar la opinión de los que en el aprovechamiento del calor perdido no ven economía, sino antes bien un aumento del coste de explotación del horno rotatorio.

Naturalmente, la industria del cemento no permanece estacionaria, sino que trata de alcanzar cada vez mayor perfección. Hay que investigar si no será posible una mejora a un perfeccionamiento en una determinada dirección, en aquellos casos en que ya no resulta posible según otra. Hemos visto que el horno vertical ha alcanzado ya su máxima capacidad de producción posible. El perfeccionamiento del horno vertical de alto rendimiento debía obtenerse ya acortando la duración de la cocción; es decir, hacienda pasar el material más rápidamente por el horno. Esto sólo era posible aumentando la cantidad de aire, cosa que se traduce en el aumento de la velocidad del mismo, y por consiguiente, de su presión. El perfeccionamiento de los medios destinados a obtener esta presión se reduce a los ventiladores, y sobre todo al del consumo de energía. Como ya se ha dicho, la energía adicional requerida llega a ser tan grande, que el proceso puede resultar antieconómico. Sucede algo muy distinto, en cambio, en el caso del horno rotatorio, que en ningún caso podrá decirse que haya llegado al límite de sus posibilidades. En tanto que el horno vertical ha alcanzado casi el límite teórico del consumo de combustible, y se aproxima al balance térmico ideal, el horno rotatorio se halla todavía muy apartado de este ideal. Según se verá algo más abajo, el perfeccionamiento del horno rotatorio ha seguido caminos extraviados y solamente en la época más reciente ha llegado a ser atacado el problema en su punto esencial. Aun cuando el rendimiento térmico del horno rotatorio es inferior al del horno vertical, casi teóricamente perfecto, no hay más remedio que admitir que el horno rotatorio tiene ante sí un importante porvenir, una vez que su balance térmico haya ido perfeccionándose, para aproximarse al del horno vertical.

El punto débil del horno rotatorio consiste en el aprovechamiento tan inadecuado de su sección transversal para el intercambio de calor; el calor de los gases calientes se utiliza de manera muy ineficaz. Esto ha dado lugar a una serie de tentativas de aplicación del calor de los gases calientes en otras formas, siendo la más palmaria la desecación de las primeras materias. Este propósito sólo puede ser adoptado cuando se trabaja por vía seca, y se considera ya como anticuado con relación al horno rotatorio. Procedente de América llegó el método de utilización de los gases de la combustión para la producción de energía en calderas de recuperación de calor. Se necesitaba un perfeccionamiento considerable antes de que la calor de recuperación de calor pudiese llegar a su satisfactoria forma actual, y aun así no significa todavía una solución ideal del problema. En primer lugar, es un aparato complicado, delicado y costoso, y sólo puede ser instalada económicamente en la fábricas de mayores dimensiones. Además, implica el acoplamiento de dos procesos completamente diferentes.

El solo procedimiento para llevar a cabo satisfactoriamente una solución indiscutiblemente práctica sería el de utilizar los gases de escape en la producción efectiva de cemento, es decir, en la desecación, en el calentamiento previo del aire o en algún otro proceso directamente relacionado con la cocción. Excluyendo el calentamiento previo del crudo, que corresponde al método de vía seca, queda únicamente la desecación del carbón y la desecación de la pasta en el caso de vía húmeda. El método más generalizado en nuestra época para secar carbón consiste en utilizar en la instalación molturadora del mismo el calor recuperado del clinker (molinos Loesche y Rema). Más tarde trataremos de la posibilidad de desecar la pasta.

* Diversas soluciones se han propuesto para la aplicación del calor de escape al calentamiento previo del aire; por ejemplo, la instalación de regeneradores Siemens o de recuperadores, como en los altos hornos, en la forma en que los emplea la industria siderúrgica. No parece existir ninguna dificultad práctica

para el uso del regenerador Siemens, que probablemente justificaría sobradamente su empleo. Varias patentes de aparatos parecidos han sido aplicadas a una parte de los gases calientes de escape; en ellas se emplea cierta cantidad de gases, extraída de la zona más caliente, mezclándolos luego con aire frío y volviéndolos a inyectar en el horno.

Otra idea ha sido la de alargar el horno en medida considerable, dándole, por ejemplo, una longitud de 117 m. Es evidente que de esta manera los gases de escape pueden ser muy eficazmente usados para la desecación preliminar de la pasta en el mismo horno. Por otra parte, las pérdidas por radiación aumentarán considerablemente como consecuencia del aumento de superficie; además, el horno se hace extraordinariamente pesado, llegando a consumir excesiva fuerza. El asunto merece una discusión más detenida, sin embargo, según se ha demostrado con el procedimiento Polysius-Lelep, y no parece improbable que pueda encontrarse algún perfeccionamiento siguiendo tales ideas. En la actualidad, este proceso adolece de complicación y elevado coste de funcionamiento, que compensan en gran manera la economía de combustible obtenida.

Otra posibilidad consiste en substituir la aplicación del principio de corrientes opuestas, adoptando el de corrientes que van en la misma dirección, aplicando de este modo un valioso descubrimiento realizado a propósito de la técnica de la desecación. Una instalación de esta clase podría consistir en un horno rotatorio dividido en dos porciones, dispuestas una encima de la otra. La pasta podría entrar en la sección superior y recorrerla, al mismo tiempo que circulase por ella y en la misma dirección que la pasta la corriente de gases calientes procedente del horno inferior de cocción. Los gases de escape calientes desecarían y en parte calcinarían la pasta que los acompañara, que luego sería introducida en el horno inferior. De la misma manera podría ser adoptado en este horno de cocción el principio de las corrientes en la misma dirección. El clinker saldría por el extremo opuesto a la plataforma del calcinador, en tanto que los gases serían dirigidos hacia arriba y conducidos al horno superior, en el que serían empleados para desecar y calcar en parte las primeras materias. Como quiera que, según enseña la técnica de la desecación, el principio de las corrientes en una misma dirección produce una intensificación considerable en la transmisión del calor, su aplicación puede dar por resultado un procedimiento que emplee hornos relativamente cortos.

Finalmente, necesitamos considerar si el horno rotatorio, una vez haya alcanzado el consumo teórico de combustible, podrá ser considerado como el último perfeccionamiento en materia de cocción del cemento, o bien si los aparatos que en el porvenir se emplearán para la cocción sobrepujarán tanto a los hornos rotatorios como a los hornos verticales. Desde este punto de vista es evidente que ambos tipos de hornos se hallan muy lejos del ideal. La formación del cemento tiene lugar en un tiempo relativamente corto, y en los hornos actuales, tanto las materias crudas como las ya cocidas circulan lentamente durante un tiempo mucho más largo que el necesario. Esta rotación innecesaria de grandes masas de material significa energía derrochada. Es evidente, pues, que aun cuando se llegase a alcanzar las condiciones ideales de cocción, podría proseguirse el perfeccionamiento de los hornos en sentido de su mejora mecánica, construyendo máquinas que requiriesen el mínimo de potencia. Esta tendencia ha conducido recientemente al concepto, adelantado por Naske, Meier y Andreas, de producir el cemento de un modo efectivo en la misma llama. Adelantando un paso más podemos llegar a la fabricación de cemento como subproducto de la producción de energía, alimentando los hogares de las calderas de una central con una mezcla de combustible de baja potencia calorífica y crudo de cemento.

Nueva fábrica de cemento Portland en Suiza.*

por F. F. TIPMANN.

En 1928, la Compañía Suiza Portland Zementwerke Hausen, A.G., estableció una nueva fábrica de cemento Portland en Hausen, junto a Brugg, cantón de Argovia, en el Jura suizo, distrito que contiene reservas inagotables de primeras materias adecuadas para la fabricación de cemento Portland de alta resistencia. La instalación fué llevada a cabo totalmente por la conocida casa Andreas Maschinenbau G.m.b.H.† de Münster, en Westfalia. La fábrica ha sido proyectada para una capacidad de producción diaria de 500 toneladas, pero se ha previsto ya que en un porvenir más o menos próximo se pueda duplicar esta producción. La fig. 2 (v. pág. 886) indica la planta y sección de la fábrica: (1) trituración preliminar; (2) silos de crudo; (3) secador; (4) separador eléctrico de polvo; (5) molino de crudo y molinos de cemento; (6) silos de mezcla del crudo; (7) horno de cuba Andreas; (8) horno rotatorio Andreas; (9) trituración preliminar; (10) silos de crudo; (11) secador; (12) silos de cemento; (13) apartaderos de vía férrea; (14) envasado; (15) molinos de crudo; (16) molinos de cemento; (17) silos de carbón; (18) silos de mezcla de crudo; (19) horno de cuba; (20) molturación del carbón; (21) horno rotatorio; (22) silos de clinker; (23) silo de yeso; (24) depósitos de carbón y de yeso. Se adoptó una combinación de hornos verticales y rotatorios, con objeto de lograr la debida economía de explotación, adaptándose a las periódicas variaciones de la demanda.

Como el horno vertical Andreas (que evita el moldeo del crudo en briquetas) ha llegado a ser un rival económico del horno rotatorio, son muchas las nuevas fábricas, e incluso algunas antiguas equipadas con hornos rotatorios, que han decidido instalar esta proceso combinado. Los hornos instalados en la nueva fábrica son del tipo vertical de alto rendimiento y rotatorios Andreas. La construcción empezó en 4 de octubre de 1928, y a pesar de la crudeza del invierno, la fábrica se halló en plena producción a principios de agosto de 1929. Las figs. 1 y 3 (véanse págs. 885 y 887) representan la fábrica terminada, vista desde el ferrocarril y desde su parte posterior, respectivamente. Las primeras materias son: caliza dura de alta dosificación en cal, procedente del Jura, y una marga semi-dura del Jura, de dosis variable de cal; esta última se explota en capas, y es conducida a la fábrica por un ferrocarril funicular de doble vía, que pasa a través de un túnel. Los vagones de primeras materias se vacían volcándolos en una máquina automática rotatoria volcadora, y su contenido es conducido por un transportador a una trituradora de martillos Andreas. Esta máquina es capaz de triturar trozos de hasta 150 cm. de diámetro, y deja el material del tamaño de una avellana, con una producción de 100 toneladas por hora. Puede, por consiguiente, contarse con una producción diaria de 800 toneladas de primeras materias, a base sólo de una jornada de ocho horas. La fig. 4 (v. pág. 888) representa la instalación de trituración preliminar.

Las primeras materias trituradas se almacenan en tres silos de una capacidad total de 687 m³. Estos silos se descargan por medio de una placa Andreas (fig. 5, v. pág. 888). Al llegar a este punto el personal del laboratorio gradúa aproximadamente la mezcla de las primeras materias. La construcción de las descargas de los silos permite que dichos silos estén dispuestos uno al lado

* Actualmente bajo el control del Sindicato Suizo del Cemento.

† La casa Andreas, G.m.b.H. se ha fundido en lo que a maquinaria de cemento se refiere, con la casa Krupp Grusonwerk, A.G., de Magdeburgo, Buckau.

del otro, de modo que el aparato de placa, combinado con la carga constante de material, asegura una descarga uniforme, que es de importancia decisiva para mantener la composición del crudo a base de la mezcla de cal y marga, con constancia suficiente. Este tipo de descarga de silo se ha montado en toda la fábrica (es decir, tanto para los silos de alimentación de los molinos de crudo como para los de los molinos de cemento, y asimismo los de carbón y yeso, etc.), tanto se trata de materiales gruesos como granulados.

La mezcla de cal y marga obtenida a la salida de los silos de crudo es llevada a un secador rotatorio del tipo celular Andreas. Este secador posee excelente rendimiento térmico. Va complementado con una instalación eléctrica Lurgi de captación de polvo.

El crudo desecado pasa luego al silo o recipiente de alimentación del molino de crudo. El molino de crudo es un molino combinado de tres departamentos y alta producción, de 2,40 m. de diámetro por 14 m. de longitud. La capacidad horaria de producción es de 60 toneladas de crudo de 12 a 14% de residuo sobre el tamiz de 4900 mallas p. cm²; en la moderna práctica molturatoria puede aceptarse como el máximo rendimiento a que se ha podido llegar el de 75 kg. por C.V.-hora. En consecuencia el consumo diario de crudo (800 toneladas) puede ser proporcionado por un solo molino trabajando únicamente durante la noche, cosa que permite beneficiarse de las tarifas mas económicas a que se puede obtener la energía eléctrica durante las horas de la noche. Así pues, excepción hecha de los hornos, las instalaciones son tales que la totalidad de la fábrica puede limitarse a trabajar durante 8 o 12 horas y aprovechar el período de la noche en que la energía eléctrica es más barata. Tanto el molino de crudo como los molinos de cemento van accionados por motores de baja velocidad equipados con compensadores de fase. Con esta combinación se logra sencillez y seguridad junto con economía de fuerza y alto rendimiento, que suelen ser las características de los motores del alta velocidad dotados de reductores de engranaje. El crudo es transportado a los silos de mezcla que forman cuatro unidades de una capacidad total de 2100 m³. La homogeneización del crudo se lleva a cabo por el método de remolinos y resulta tan perfecta que escasamente llegan a un 0,3% las fluctuaciones de la dosis de CaCO₃.

Los silos de crudo y de cemento se vacían por medio de una doble cadena Andreas de descarga, que permite una construcción mas sencilla y económica de los silos (fig. 7, véase pág. 890).

Una vez homogeneizado, el crudo es conducido a los hornos, de los que empezaremos por describir los verticales, en forma resumida. La fábrica primitiva comprendía dos hornos verticales de 2,50 m. de diámetro y 10 m. de altura. El crudo y el combustible (menudo de antracita) son pesados simultáneamente en una máquina pesadora automáticamente acoplada. La mezcla se humedece y amasa luego en un tornillo mezclador especial y se introduce en el horno por medio de un alimentador de tipo especial, sin moldeo previo ni formación de briquetas. El horno se caracteriza por no producirse adherencia del material al forro de sus paredes. Además, la cocción es rápida en la zona de clinkerización relativamente estrecha, en tanto que la introducción de aire secundario garantiza una refrigeración uniforme, rápida e intensiva del clinker. El horno es descargado por medio de una parrilla mecánica, en la que se aplica la compuerta o cierre de descarga Andreas, que es hermético al aire y al polvo. La fig. 8 (véase pág. 890) representa la plataforma de cocción de la instalación del horno vertical.

La producción diaria por horno es de 140 toneladas de clinker de calidad normal igual que la del clinker de horno rotatorio, con un consumo de combustible del 16 al 17% de menudos de antracita, o sean 114.000 k-calorías por 100 kg. de clinker. El cemento obtenido con este clinker de horno vertical

(molido a 10-12% de residuo sobre el tamiz de 4900 mallas p. cm²) fué ensayado para ver si cumplía con las Normas suizas, en el Laboratorio Federal de Ensayo de Materiales de Zurich, con los resultados siguientes :

			Resistencia a la tracción en kg. p. cm ²			Resistencia a la compresión en kg. p. cm ²
3 días	...	...	24	...	...	350
7 días	...	...	32 a 35	..	...	450
28 días	...	...	45 a 50	.	...	650 a 750

Estos valores satisfacen las condiciones sumamente rigurosas de las normas suizas.

Parte del crudo homogeneizado es transportado al horno rotatorio Andreas que trabaja por vía seca. El horno que ahora se ha instalado tiene 2,80 m. de diámetro por 45 m. de longitud (fig. 9, véase pág. 891), y va accionado por un electromotor.

El horno es de tipo sencillo y está formado por un tubo de sección uniforme en toda su longitud, es decir, sin ensanchamiento. Los gases de escape del horno son usados para el calentamiento y calcinación de las primeras materias, de manera que los gases salen del horno a una temperatura final de 160 a 170° C. Hay instalado un enfriador rápido Andreas. Este último exige poco sitio, y recupera el calor del clinker en forma de aire calentado previamente y sin polvo, que se inyecta en el horno. La capacidad diaria de producción es de 220 a 240 toneladas con un consumo de combustible del 16 al 17%, equivalente a un consumo de calor de 105.000 a 110.000 k-calorías por 100 kgs. de clinker. Para almacenar el clinker se han dispuesto tres grandes silos de más de 2250 toneladas de cabida.

Los molinos de cemento son dos molinos combinados de tres departamentos, de las mismas dimensiones que el molino de crudo, que muelen cada uno de 30 a 32 toneladas por hora, o sea unos 40 kg. por C.V.-hora. Cada molino va equipado con una instalación especial de captación de polvo. El cemento molino es almacenado en un sistema de 5 silos, cada uno de los cuales tiene una capacidad de 2400 m³. Dichos silos se vacían mediante una cadena de descarga. La instalación ensacadora consta de dos máquinas ensacadoras Andreas para sacos de válvula, provistas cada una de cuatro boquillas inyectoras y que dan en conjunto una capacidad de llenado de 1600 a 1800 sacos por hora. La producción de la fábrica puede, pues, ser cumplimentada holgadamente en 8 horas. Las máquinas ensacadoras fueron descritas en el número de abril de 1930 de esta Revista.

El carbón y el yeso que llegan a la fábrica se vierten en dos depósitos situados entre las secciones correspondientes, y (después de una trituración preliminar del yeso) son transportados a los cuatro silos de carbón (de unos 1500 m³ de capacidad), o al silo de yeso (de unos 150 m³ de cabida), todos los cuales van equipados con plataformas de descarga. En el horno vertical el carbón se emplea tal como llega; para el horno rotatorio es desecado en un secador rotatorio y molido en un molino combinado especial Andreas para carbón.

Con vistas a una duplicación posible de la producción se han construido las cimentaciones completas para una segunda trituradora de martillos, otro molino de crudo, dos nuevos hornos verticales, otro horno rotatorio, un molino de cemento, etc. La fábrica es alimentada con corriente alterna a 20.000 voltios de una línea próxima de transporte de energía, siendo luego transformada a 500 voltios en la fábrica. La fábrica puede ser hecha funcionar con solo 18 hombres por turno. El equipo eléctrico de la fábrica fué suministrado por las casas suizas Brown Boveri, Baden, Oerlikon y por la fábrica de cables de Brugg

Fraguado y endurecimiento del cemento Portland.

por A. C. DAVIS.

(DIRECTOR GERENTE DE FÁBRICAS DE LA ASSOCIATED PORTLAND CEMENT MANUFACTURERS, LTD.)

El fraguado del cemento aun no se ha llegado a comprender bien; sus complejos componentes todavía no han sido aislados totalmente, ni se conoce de manera segura el modo de conducirse de cada uno de ellos. Hasta que se haya llegado a un conocimiento bien completo de dicho proceso, la discusión tendrá que estar basada casi toda en hipótesis. Mucho se ha escrito sobre este tema durante los últimos años, sosteniendo unos que el proceso se debe a la cristalización, y otros que es debido a una acción coloidal o a una combinación de ambas hipótesis.

Los partidarios de las dos tendencias principales parecen hallarse de acuerdo en admitir que las cualidades adherentes y cohesivas del cemento fraguado derivan de la presencia de compuestos bajos en cal, si bien no todos admiten que la hidrólisis pueda avanzar hasta el punto de producir sílice hidratada; puesto que, simultáneamente, se produciría también hidrato cálcico, originándose una rápida combinación, que haría imposible la coexistencia de ambas sustancias. Thomas Edison explicó una vez al autor que era decidido partidario de la teoría coloidal, en tanto que Le Chatelier, el eminente químico francés, se ha opuesto siempre a la teoría que atribuye el endurecimiento a determinadas propiedades coloidales del cemento. Otros técnicos y peritos sostienen también puntos de vista bien definidos, pero opuestos. En su obra acerca del análisis microscópico de la constitución del cemento Portland, publicada en 1887, Le Chatelier afirmaba haber comprobado que los principales componentes del cemento Portland consisten en cristales cúbicos incoloros y birrefringentes, entre los cuales existe una sustancia oscura, birrefringente, pero no cristalina. Halló, además: (a), cristales amarillentos claros, opacos y ligeramente estriados; (b), cristales muy pequeños, con una birrefringencia algo intensa; y (c), zonas de materia que carece de acción sobre la luz polarizada.

Le Chatelier indicó también que, al intentar definir la palabra "coloide," Graham (el iniciador del descubrimiento de los cuerpos así denominados) ha reconocido la existencia de dos soluciones diferentes, y en tanto que los cristaloides, cuando se disuelven, son susceptibles de difusión, los coloides no lo son; la primera clase de cuerpos da por evaporación materias cristalizadas denominadas cristaloides (sal marina, azúcar, etc.), mientras que los otros dan cuerpos amorfos (sílice gelatinosa, goma, etc.).

Zsigmondy ha demostrado, con auxilio del ultramicroscopio, que las soluciones coloidales no son verdaderas soluciones, sino solamente suspensiones de materia insoluble muy finamente dividida. Estas suspensiones son opacas y lechosas, o bien transparentes, según el grado de finura y la abundancia de las partículas en suspensión en el líquido. Cuando su diámetro es inferior a la longitud de onda de la luz, permiten que la luz desvíe su curso, a semejanza de lo que hace el sonido con pantallas de un tamaño ilimitado. El diámetro de los coloides verdaderos se aproxima a la millonésima de milímetro, siendo siempre mucho menor que una milésima de milímetro.

Tales suspensiones coloidales se producen con todos los cuerpos insolubles muy subdivididos; por ejemplo, los metales, tales como el platino y la plata, cuando son pulverizados por el arco eléctrico; el cuarzo finalmente molido, la alúmina, el caolín y otros minerales; los precipitados químicos completamente insolubles, como los sulfuros (especialmente el sulfuro de níquel); o finalmente, el tanato de hierro, usado en la fabricación de la tinta.

Hay una propiedad especial e importante de estos cuerpos finamente divididos, que permite clasificarlos separadamente, y es la propiedad de adsorber los cuerpos solubles, mantenidos en solución por el líquido que los rodea. Tal adsorción, que es un manantial de equivocaciones en los análisis, es frecuente en los precipitados químicos, pero no es característica de un modo especial de los cuerpos finamente divididos, sino que también se manifiesta en los cuerpos porosos. Desde este punto de vista, los coloides y los cuerpos porosos tienen que ser clasificados juntos; el poder de adsorción es un caso particular de las propiedades mucho más generales que poseen todos los cuerpos muy finamente subdivididos. Químicamente, un cuerpo, en forma de polvo impalpable, se conduce de modo completamente diferente que el mismo cuerpo, cuando se halla en fragmentos grades. Hay una química especial de los cuerpos coloidales y porosos. Estas propiedades particulares se deben a la inmediata influencia de la tensión superficial.

Hace ya tiempo que se ha comprobado que todos los fenómenos químicos dependen directamente de las diversas formas de la energía: calor, electricidad, trabajo; las reacciones químicas de los combustibles desprenden calor; las reacciones de las pilas engendran electricidad; las reacciones de los explosivos, trabajo.

La energía superficial, que se mide por el producto de la tensión superficial o tensión capilar por la superficie libre de un cuerpo, es en general de magnitud infinitamente pequeña, comparada con otras formas de la energía. La molécula gramo de agua (18 g.) puede suponerse que tiene la forma de una esfera de 3,3 cm. de diámetro. En contacto con su vapor de agua, la esfera tendrá una tensión superficial de 0,08 g. por centímetro lineal. La superficie de la esfera es de 34 cm², por lo cual su energía superficial será $0,08 \times 34 = 2,72$ gramos-centímetros, o bien de $2,72 \times 10^{-5}$ kg. metros, que corresponden a $6,3 \times 10^{-8}$ k-calorías. Ahora bien, la vaporización de una molécula gramo de agua absorbe 10 calorías, y su combinación con la cal desprende 10 calorías. Su energía superficial, por consiguiente, equivale solo a una cienmillonésima parte de aquella cantidad de calor, resultando, por consiguiente, despreciable. Si en lugar de una sencilla esfera, el agua formase un crecido número de pequeños, glóbulos, de una millonésima de milímetro cada uno, su superficie, y por consiguiente su energía superficial total, aumentaría 330 millones de veces, y equivaldría, por consiguiente, a 2 calorías; es decir, que la energía superficial sería del orden de magnitud de la cantidad de calor que el agua desprende en sus diversas reacciones químicas. En este caso, la energía superficial ya no podría considerarse como un factor despreciable.

En lo tocante a los sólidos en suspensión en un líquido, no existe ningún método directo para medir la tensión superficial en los puntos de contacto entre el sólido y el líquido. Consideraciones de orden indirecto indican que esta tensión puede llegar a ser 100 veces mayor que la del agua. La energía superficial aumentará en la misma relación, y su influencia llegará a ser apreciable en el caso de dimensiones del orden de una diezmilésima de milímetro, dimensiones muy superiores a las de los precipitados químicos.

Estas consideraciones se refieren únicamente al tamaño de los gránulos, sin tener en cuenta para nada la mayor o menor solubilidad de los cuerpos en cuestión. No suministran todavía ninguna explicación inmediata de la usual insolubilidad de los coloides. Un cristal sólido, molido y convertido en gránulos muy finos, poseerá ciertamente todas las propiedades de los coloides, mientras conserve su finura, pero perderá rápidamente esta última tan pronto como se ponga en contacto con un líquido capaz de disolver parte de su substancia. La energía en disolución será aumentada por la totalidad de la energía superficial del cristal; resultará de ello un aumento de la solubilidad de los cristales finos, y se producirá una solución sobresaturada, de la que se separarán pronto grandes cristales. Este fenómeno ha sido comprobado con gran claridad para los precipitados muy finos de sulfato cálcico y sulfato bórico. Con objeto de hacer estos precipitados más ásperos o de grano más grueso, evitando en esta forma que pasen a través de los filtros, tales precipitados se conservan calientes durante varias horas antes de su filtración.

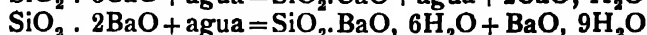
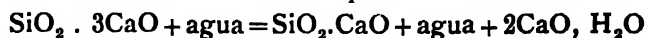
Todo cuerpo soluble, aun cuando se halle en un estado de gran subdivisión, va perdiendo progresivamente sus propiedades coloidales, cuando se mantiene en contacto con un líquido en el que es algo soluble; su transformación será tanto más rápida cuanto mayor sea su solubilidad, sólo los cuerpos insolubles pueden conservar, por consiguiente, el grado extremado de subdivisión que corresponde al estado coloidal. Por la misma razón, los cuerpos llamados propiamente coloides, nunca presentan una forma cristalina perceptible, porque la orientación cristalina supone una cierta movilidad del material en el disolvente, tanto si éste es líquido como si es gaseoso.

Al estudiar si son coloidales o no lo son los productos del endurecimiento de los morteros hidráulicos, es interesante examinar el caso del yeso. Cuando el yeso ha fraguado, los cristales no son aún perceptibles en el material, ni siquiera con los mayores aumentos del microscopio. Esto no demuestra, sin embargo, que no se hayan formado cristales, pues puede suceder que sean demasiado pequeños para ser percibidos. En las placas que sirven de muestras en petrografía, cuando tienen menos de 0,02 mm. de espesor, es posible sólo con mucha dificultad distinguir cristales de diámetro inferior a 0,005 mm. Aplastando la masa blanda con el cristal cubreobjetos, no llega a reducirse a menos de 0,0005 mm., dimensiones todavía muy lejanas de las coloidales. Cuando el yeso húmedo, (previamente hidratado) es abandonado a sí mismo, al cabo de algunas semanas empiezan a ser perceptibles los cristales; transcurridos algunos años, son ya visibles incluso a simple vista. Además, los cristales del yeso que se endurece son visibles desde el principio, a condición de que el yeso se amase con agua alcohólica, en lugar de hacerlo con agua pura. El fraguado entonces se retarda, y los cristales se desarrollan mejor.

Los aluminatos de calcio, que desempeñan un brillante papel en el rápido endurecimiento de los cementos, se hidratan con la misma rapidez que el yeso, dando asimismo una masa blanquecina, en la cual no pueden percibirse los cristales. Si en lugar de amasar el aluminato con poca agua, se cogen unos gránulos aislados de aluminato y se echan en un gran volumen de agua, dichos gránulos quedan rodeados muy pronto de largos cristales de aluminato hidratado, que siempre son visibles al microscopio, y que pueden a veces ser vistos incluso a simple vista.

Sólo el silicato cálcico da lugar a dificultades en estas consideraciones; ofrece gran interés, porque el silicato es elemento esencial en el endurecimiento definitivo del cemento Portland. El microscopio no revela la presencia de

silicato cálcico hidratado; sus cristales son seguramente muy pequeños, pero existen numerosas analogías, que hacen que no se pueda negar su existencia. La hidratación es exactamente la misma que en el caso del silicato bórico:



Los cristales de cal hidratada son claramente visibles, como los de barita hidratada; pueden alcanzar dimensiones de varios milímetros. Los cristales de silicato bórico pueden ser siempre vistos con auxilio de una lente, y a veces incluso a simple vista. Por analogía, puede decirse que el silicato cálcico hidratado cristalizará igualmente; pero como es mucho menos soluble que el compuesto de bario, sus cristales serán demasiado pequeños para resultar perceptibles.

No es imposible que al principio las dimensiones de estos cristales sean de orden coloidal, y así debe suceder en el momento de la formación de los precipitados de sulfato bórico y oxalato cálcico. Se ha demostrado, en efecto, que este silicato cálcico precipitado absorbe, en el momento de su formación, una cierta cantidad de cal, que varía con la concentración del líquido. En el curso del tiempo, las dimensiones de los cristales tienen que aumentar considerablemente, lo mismo que en todos casos análogos. La resistencia mecánica, por otra parte, no disminuye con el tiempo. Por consiguiente, el estado coloidal, que era posible al principio, se afirma que nada tiene que ver con el endurecimiento del cemento.

La teoría del endurecimiento de los cementos, que Le Chatelier propuso hace ya muchos años, no parece todavía que haya sido refutada. Decía así: los compuestos anhidros de los cementos, no hallándose en equilibrio cuando se ponen en contacto con el agua, son más solubles que los mismos compuestos hidratados. Por esta razón, dan lugar a la formación de una solución sobresaturada, de la cual se separa rápidamente por cristalización el compuesto hidratado. El líquido, no estando ya saturado, puede disolver de nuevo mayor cantidad de los compuestos anhidros, y toda la masa puede llegar así a cristalizar progresivamente, pasando por una fase de disolución transitoria, en un limitado volumen de agua, que en un momento dado no podría mantener disuelta más que una pequeña porción de la masa total de sales existente.

Los cristales que se depositan de las soluciones sobresaturadas aparecen siempre en forma de agujas sumamente alargadas, que tienen tendencia a agruparse formando esferulitos alrededor de ciertos centros de cristalización. El entrecruzamiento o trabazón de todos estos cristales es la única causa de la consolidación de la masa. Se sueldan unos con otros si su orientación mutua es adecuada; se adhieren por simple contacto, como la hacen todos los cuerpos sólidos, cuando descansan de manera efectiva uno contra otro.

Finalmente, el simple rozamiento en los puntos de contacto basta, aún en ausencia de toda adherencia, para producir una gran resistencia mecánica, análoga a la que se observa en todos los tejidos, cuya solidez no se debe a otro origen. Cuanto más finos y alargados son los cristales, más numerosos son sus puntos de contacto y mayor es su resistencia de rozamiento. Cuanto mayor es la superficie de contacto, tanto más desarrollada se halla la adherencia. El progresivo crecimiento de las dimensiones del cristal por el mecanismo indicado aumenta el papel desempeñado por la adherencia, en tanto que disminuye el desempeñado por el rozamiento.

Dejando ahora de lado estas consideraciones teóricas del mecanismo del fraguado, nos proponemos discutir algunos puntos prácticos de importancia más

inmediata para el fabricante. El cemento fraguado contiene cal hidratada, y si, como se ha sostenido, esta cal hidratada es inerte, nos encontramos con la anomalía de que, para dar mayor resistencia a sus productos, los fabricantes de cemento se ven obligados a elevar lo más posible la dosis de cal, en tanto sea compatible con la constancia de volumen, mientras que en el hormigón resultante hay una parte de cal que no se necesita.

Para obtener la dosis de cal máxima necesaria para la producción de cemento estable e inalterable de volumen, los fabricantes muelen sus materias primas muy finamente, a costa de un gasto importante; y además, siendo elevada la temperatura de clinkerización de los crudos altos en cal, también resulta muy crecido el coste de la calcinación; existe, pues, la anomalía aparente de que el fabricante de cemento prepara un producto recargado con un exceso de un componente, de manipulación costosa y que, en último término, resulta una materia inerte que lo diluye. La producción de cementos bajos en cal, por consiguiente, ha ocupado la atención de muchos investigadores; pero, como ha sucedido que la base de sus experimentos ha sido ordinariamente la escoria de altos hornos, con su fuerte dosis de azufre de sulfuros, tales cementos bajos en cal han sido desechados por razón de su dosis de azufre y de sus graves peligros.

Los manantiales ordinarios de primeras materias, tales como las margas, las calizas, la arcilla y la pizarra pueden, desde luego, ser usados para producir cementos bajos en cal; sin embargo, los resultados alcanzados hasta ahora no han sido satisfactorios.

Sostienen aquellos que han dedicado mucho tiempo y trabajo a estas cuestiones, que los componentes principales del cemento Portland son: el silicato tricálcico, el silicato dicálcico y el aluminato tricálcico. De estos componentes, el silicato tricálcico es el que se endurece y desarrolla mayores resistencias dentro de un tiempo prudencial; es el que se forma con mayor dificultad, y constituye sólo, aproximadamente de un 30 a un 35% del cemento Portland normal medio. Podrá suceder, pues, que el proceso esencial de la fabricación del cemento Portland sea la formación de este compuesto, y que toda mejora del proceso, que conduzca a aumentar el tanto por ciento de silicato tricálcico obtenido, aumente en último término el valor cementicio del Portland.

Aunque estas consideraciones se refieren especialmente a los cementos Portland, la experiencia lograda con los cementos aluminosos, recientemente vulgarizados, indica que el silicato tricálcico no es esencial para la producción de un material que dé lugar a resultados semejantes. Como es sabido, los cementos aluminosos consisten principalmente en cantidades aproximadamente iguales de cal y alúmina, con pequeñas dosis de sílice y de otros elementos que se encuentran también en los cementos Portland. El principio y el fin del fraguado tienen lugar en un plazo análogo al del cemento Portland, y se efectúan de manera similar, pero el endurecimiento ulterior se realiza más rápidamente y con gran desprendimiento de calor. Este calor crea ciertas dificultades, y está por probar todavía si el cemento aluminoso dará o no hormigones más duraderos que el Portland en determinadas condiciones de servicio.

Desde los primeros tiempos de la industria, se ha acostumbrado a regular el tiempo de fraguado del cemento Portland mediante la adición de sulfato cálcico durante su fabricación; ordinariamente, se agrega bajo la forma de piedra de yeso en el curso de la molturación del clinker. Con el clinker bien cocido procedente de hornos rotatorios se requerirá una adición de alrededor de un 4% de piedra de yeso, para lograr un cemento verdaderamente de fraguado lento. No obstante, esto depende, en parte, de las primeras materias y del

grado de cocción así como de la pureza del yeso usado. No debe perderse de vista que la agregación aumenta la dosis de anhídrido sulfúrico (SO_3) que se encuentra en el análisis del cemento, y que todas las normas establecen límites para la dosis de dicho componente admisible en el cemento. En las normas inglesas para el cemento Portland, este límite es del 2,75%. Lo acción del yeso en la actualidad sólo se ha llegado a interpretar imperfectamente, y será necesario un conocimiento más completo del mecanismo del fraguado del cemento para poder apreciarla debidamente. Es probable que, en la mayor parte de los cementos Portland, la dosis útil de SO_3 quede comprendida entre límites muy estrechos. Como ejemplo de lo que decimos y de lo complicado que es el fenómeno del fraguado, citaremos que, en algunos casos se ha observado que una agregación de yeso suficiente para elevar hasta 1,2% la dosis de SO_3 contenida en el cemento, puede no tener todavía efecto aparente sobre el fraguado, que sigue siendo instantáneo, mientras que un ligero aumento de este SO_3 (1,3%, por ejemplo) producirá ya el retardo del fraguado, que luego subsistirá casi sin alteración, a pesar de añadirse nuevas cantidades de yeso.

En la última mitad del siglo XIX era práctica corriente entre los consumidores de cemento airearlo antes de su empleo. Esta práctica se llevaba a cabo al principio para mejorar la estabilidad y constancia de volumen, neutralizando la cal libre existente debida a la combinación incompleta de los componentes en los hornos que en aquel tiempo se usaban. La operación tenía, sin embargo, un importante efecto sobre el fraguado del cemento, gracias a la absorción de la humedad atmosférica, y a este efecto ha recurrido el fabricante que ha empleado después la hidratación por medio del vapor en los molinos durante la operación del molido del clinker, la *maduración del clinker* antes de su molturación, y el rociado con agua del clinker caliente suando sale del horno. Estos métodos de retardar el fraguado han sido necesarios en aquellos casos en que se ha visto que el yeso era parcialmente ineficaz, pero no siempre han dado resultados satisfactorios. El yeso suele ser más eficaz cocido en forma de yeso de París que crudo como piedra de yeso.

El fraguado rápido es una característica del cemento de horno rotatorio sin arreglar, y debe ser regulado por dichos medios hasta alcanzar los tiempos de fraguado necesarios, exigidos al producto comercial. Hablando en términos generales, un cemento comercial, una vez amasado con agua para formar pasta pura, debe conservarse inerte durante por lo menos media hora, pero una vez transcurrido este tiempo, cuanto más rápidamente fragüe mejor será.

La adición de yeso se halla admitida casi en todas las normas oficiales, porque un cemento que variase en su tiempo de fraguado, desde pocos minutos hasta varias horas, resultaría sumamente enojoso y perturbador para el consumidor, y en cambio, gracias a la introducción de yeso mientras el cemento pasa por la maquinaria molturadora, se obtiene un producto que garantiza un fraguado lento y uniforme. Esta adición de yeso no altera lo más mínimo la resistencia ni la calidad del cemento.

El rociar con agua o hidratar el clinker bien cocido para regular el fraguado del cemento tiene la ventaja de que el fraguado generalmente se retrasa por dichos procedimientos, y el cemento acabado puede regularse hasta obtener el tiempo de fraguado deseado mediante una combinación de la hidratación con la agregación de yeso. Sin embargo, es muy fácil pecar por exceso al hablar del fraguado del cemento con demasiada precisión de horas o minutos, pues aunque es necesaria una medida del tiempo para la debida clasificación, hay tendencia a

exagerar el valor de las diferencias de pocos minutos en los resultados, tal como se registran en la pasta de cemento durante los ensayos efectuados por los métodos acostumbrados. En general, basta una amplia clasificación, según la clase del cemento, en rápido y lento. Algunas veces, cementos que son de fraguado lento cuando se hallan recientemente molidos, se han convertido en cementos de fraguado rápido después de conservados en el almacén, conservando esta característica algunas veces, o volviendo en otras al fraguado lento; esto, probablemente, es debido a algún efecto relacionado con la adición de yeso; este último es soluble, y retarda el fraguado del cemento, pero cuando el sulfato de cal entra en combinación con el aluminato cálcico su acción retardadora desaparece, y el cemento se vuelve temporalmente de fraguado rápido.

Recientemente se ha observado en determinados casos un fenómeno descrito con la denominación de "falso fraguado inicial." La galleta de pasta pura de cemento, amasada para el ensayo en la forma acostumbrada, se observa que pierde su humedad superficial y adquiere la rigidez y aspecto que suelen acompañar al principio del fraguado, todo ello muy poco rato después del amasado. También puede llegar, en algunos casos, a un grado de consolidación suficiente para impedir que la aguja penetre por completo en el molde. El cemento entonces se mantiene en esta condición durante un tiempo apreciable, observándose un intervalo muy largo antes del final del fraguado, que conserva su carácter completamente normal. Si la probeta de pasta se vuelve a amasar inmediatamente, después de haber aparecido el falso fraguado inicial, se verá que éste no vuelve a aparecer, y que la galleta presenta el principio y fin de fraguado en sus plazos normales. El fenómeno parece poder ser explicado por la acción del yeso empleado para retardar el fraguado; dicho yeso se deshidrata por la temperatura desarrollada por el rozamiento en el molino.

Se suele interpretar el que un cemento de fraguado rápido o un cemento que se ha vuelto de fraguado rápido recobre un fraguado más lento mediante el almacenaje, atribuyéndolo a la hidratación del aluminato cálcico en él contenido. Algunas veces se supone que el material de fraguado rápido es un material que no ha sido almacenado, y se le califica de "caliente" o "fresco." Estos términos son indudablemente muy desconcertantes para el consumidor habitual de cemento; el cemento recientemente molido se halla caliente, pero no por esto tiene que ser de fraguado rápido necesariamente, ni todo cemento acabado de moler es siempre de fraguado rápido. Todo cemento se encuentra caliente al tacto cuando se acaba de moler, debido al calor engendrado por el rozamiento durante la operación del molido, pero si ha sido debidamente fabricado y su fraguado se ha regulado como es debido, no fraguará rápidamente.

Los pedidos urgentes de grandes cantidades de cemento Portland a veces obligan a los fabricantes a entregar cemento tal como sale del molino, y enviarlo directamente de allí a la obra. El cemento, a su llegada a pie de obra, se halla todavía sensiblemente caliente al tacto, habiendo surgido dudas acerca de si es conveniente o no emplear el cemento en tales condiciones. Como consecuencia de numerosas preguntas sobre este punto, la Building Research Station del Departamento de investigación científica e industrial ha efectuado algunos ensayos destinados a obtener algunos datos específicos: su informe indica que dicho cemento puede ser empleado con toda tranquilidad inmediatamente.

Según ya se ha dicho, el calor en cuestión procede, no del horno, sino del rozamiento producido por la molturación. Se extrajeron muestras en una fábrica de cemento tan pronto como el material salía de los molinos, y a una temperatura de 140°C. Se hicieron ensayos en el laboratorio mismo de la fábrica, con

cemento que solo tenía media hora y se hallaba todavía a una temperatura de 122°C ., y por medio de unos recipientes especiales y unos frascos aislados por el vacío, se enviaron otras cantidades del mismo cemento, recogidas también en los molinos, a la Building Research Station, sin pérdida importante de calor; los ensayos en la fábrica fueron repetidos a diversos intervalos, a medida que el cemento se iba enfriando. En una serie de ensayos, la pasta pura de cemento se obtuvo amasando con el agua estrictamente indispensable para dar una determinada consistencia, viéndose que se requería mayor cantidad de agua para producir la misma consistencia cuando el cemento estaba caliente. Como era ya de prever, el cemento caliente resultó fraguar algo más rápidamente que el frío, por razón del efecto acelerador, del calor, pero entre el cemento a 122°C . y el cemento a 115°C . se elevaba sólo la diferencia a media hora en los finales del fraguado. Esta diferencia se considera de poca importancia.

Después de los ensayos del laboratorio se construyó una sección de carretera, de hormigón, en un punto adecuado para soportar un servicio muy rudo. La sección era aproximadamente de $6,50\text{ m}^2$, y de un espesor del revestimiento de 190 mm. La capa de cimentación, de 127 mm., se hallaba compuesta de una mezcla de 1,5 partes de cemento Portland por 2,5 partes de grava y 2 partes de ladrillo triturado, y el hormigón se hizo de consistencia muy espesa. La capa superior, de 63 mm. de espesor; estaba compuesta de una mezcla de 1 parte de cemento Portland, 1 parte de ripio triturado y 1,5 partes de gravilla, con agua hasta producir una masa de una consistencia determinada. La temperatura del cemento un momento antes del amasado era de 115°C . Al cabo de dos días, se permitió la circulación del tráfico sobre las losas así preparadas, en las que el hormigón se había mantenido húmedo durante dicho tiempo. Transcurridas once semanas de servicio duro, fué examinado el hormigón, y se vió que no presentaba grietas perceptibles ni signo alguno de desintegración, hallándose su superficie en estado excelente. Con morteros de arena hechos con cemento a 122°C . antes de la mezcla (que resultaba a 30°C . en la mezcla), la resistencia media a la tracción al cabo de 28 días era de 29,4 kg. por cm^2 , contra 35,7 kg. por cm^2 cuando la temperatura del cemento y el mortero en el momento del amasado era de 15°C . Tratándose de hormigón, la diferencia era, desde luego, menor; en realidad, en los ensayos hechos con cemento a 30°C . antes del amasado, la resistencia era ya un poco más elevada que en aquellos que se hicieron a temperatura inferior. El Building Research Board, por consiguiente, consideró que los resultados de las investigaciones demostraban que no era necesario establecer restricción alguna al empleo de cemento caliente, en los casos en que convenga emplearlo, y esto confirma la opinión sostenida desde hace mucho tiempo por otros, que habían estudiado ya este tema.

Al introducir en estos últimos años el uso del cemento Portland de endurecimiento rápido, ha surgido en muchos casos cierta confusión en la mente de los consumidores, a causa de tener que distinguir entre "fraguado" rápido y "endurecimiento" rápido. El principio del fraguado, el fin del fraguado y el endurecimiento del cemento son fases sucesivas del proceso químico que empieza cuando se agrega agua al polvo de cemento. La primera fase, o sea el principio de fraguado, comprende el período anterior al momento en que empieza a coagularse la pasta, como resultado de la descomposición y reagrupación de los elementos aportados por el agua. Sigue a éste el final del fraguado, que se mide apoyando sobre la superficie una "aguja," y que ordinariamente se considera terminado cuando la aguja sólo deja una ligera huella.

El fraguado puede durar desde unos pocos minutos (fraguado rápido) hasta varias horas (fraguado lento) según sea el cemento. El endurecimiento con-

tinúa de manera ininterrumpida, en cambio, y después que se ha registrado ya el final del fraguado, los cambios químicos continúan efectuándose, y la pasta endurecida va adquiriendo gradualmente una resistencia creciente. Este último período es el de "endurecimiento," siendo evidente que un "cemento de endurecimiento rápido" será el que adquiera rápidamente dureza y resistencia.

Por consiguiente, dos cementos, uno ordinario y otro de endurecimiento rápido, pueden tardar el mismo tiempo en "fraguar," pero el último será mucho más resistente que el primero al cabo de 24 ó 48 horas. La hidratación de estos cementos fué discutida por F. O. Anderegg y D. S. Hubbell, en los "Proceedings of the American Society for Testing Materials." Se demuestra ahí de qué manera las partículas de cemento Portland corriente, cuyas dimensiones primitivas eran de 15 a 25 micras, se aproximaron a la hidratación completa en nueve meses, quedando la reacción casi terminada a los doce meses. Un cemento de alta resistencia inicial pareció llegar a un grado similar de hidratación en unos cinco meses. El aluminato tricálcico se hidrataba muy rápidamente; partículas de unas 25 micras de diámetro aproximadamente se hidrataron casi en sus tres cuartas partes en tres horas. Las partículas de silicato tricálcico de este tamaño requirieron unos 7 días para un grado similar de hidratación, mientras que el silicato dicálcico requería aproximadamente 5 meses y medio.

Eliminación del polvo en la industria del cemento.

ACERTADA o equivocada, la opinión pública supone que las principales causas de contaminación de la atmósfera por el polvo son las centrales de energía y otras diversas industrias, por cuyo motivo se está dedicando una atención tan minuciosa como es posible a la evitación de tales causas de contaminación. La industria del cemento presenta muchas oportunidades en que pueden cooperar el fabricante y el técnico en materia de captación de polvo y con provecho mutuo; ejemplos típicos de ello son la eliminación del polvo de las chimeneas de los hornos, la del que se produce en los molinos, y la del que sueltan las máquinas ensacadoras. Por consiguiente, no carecerán de interés algunos ejemplos de lo que ya ha sido realizado en este sentido mediante instalaciones suministradas por la casa Davidson & Co., Ltd., de Belfast. Más de 500 colectores suministrados por dicha casa están ya funcionando en fábricas, en instalaciones de calderas, de centrales de energía y en instalaciones industriales de la Gran Bretaña y del extranjero; separan unas 150.000 toneladas de polvo al año de los gases de las chimeneas, cantidad que viene a representar de un 70 a un 95% del material en suspensión arrastrado por los gases. Además, en diferentes industrias están funcionando más de 400 colectores de polvo, que trabajan en fábricas de cemento, en instalaciones de trituración de piedra y en máquinas productoras de clinker asfáltico.

Estos colectores de polvo patentados funcionan según el principio de la fuerza centrífuga, pero contribuyendo también el peso propio, o sea la acción de la gravedad; se usan tres tipos generales de aparatos, según las circunstancias: directo, de presión en derivación y de aspiración en derivación. El tipo directo

está formado por una caja horizontal de forma de voluta, en la cual afluye tangencialmente, por una chimenea enlazada a ella, la totalidad de los gases cargados de polvo procedentes de las calderas, y gracias a la acción de un ventilador que engendra el tiro inducido. Los gases circulan girando a alta velocidad, y el polvo pesado es lanzado hacia la periferia por la fuerza centrífuga; mientras que, como consecuencia de la forma espiral de la caja, esta acción separadora va aumentando gradualmente en intensidad a medida que el radio de la caja va disminuyendo, o sea a medida que la curvatura de la misma va aumentando. Por la parte superior de la caja los gases exentos de polvo pasan a la chimenea por un conducto, mientras que en la parte inferior existe una pieza de forma de embudo cónico de gran diámetro, que termina en un conducto vertical también cónico, de considerable altura, el cual va a parar a la cámara cerrada donde se recoge el polvo. La acción sobre las partículas de polvo es, pues, la de su propio peso, favorecida, además, por la forma cónica del fondo de la caja, y como el material va siendo continuamente solicitado hacia abajo y hacia afuera, muchas de las partículas más ligeras y de menor tamaño circulan repetidas veces siguiendo una trayectoria espiral.

Los tipos de presión en derivación y de aspiración en derivación, que son accionados por el ventilador, uno por el lado de la impulsión y otro por el lado de la aspiración del mismo, son modificaciones o variantes del tipo directo, en el cual sólo una parte de los gases de la caldera atraviesa el verdadero colector de polvo. En otras palabras, la separación centrífuga es llevada a cabo en dos partes, por medio de (1) un colector primario construido en forma de voluta alrededor de la chimenea o independientemente de ella, si así se desea, y (2) un colector secundario, del tipo directo, de pequeño tamaño, que opera sobre la capa exterior de gases, extraída por una rendija tangencial vertical, y que contiene casi todo el polvo; este colector secundario queda, por consiguiente, derivado sobre el colector primario. En este colector directo, todo el polvo es captado en la forma ordinaria mientras los gases libres de polvo pasan a la chimenea, lo mismo que los del colector primario.

Una de las características importantes de estos colectores es la de que los gases no tienen que enfriarse, ni hay necesidad de usar surtidores de agua, de manera que se evita la molestia producida por la precipitación de una lluvia ácida y sucia en las proximidades de la chimenea o de las bocas de descarga de los gases.

Como ejemplo típico de unos colectores de polvo "Sirocco" del tipo de presión derivada, fabricados por la casa, mencionaremos una instalación en una fábrica de cemento muy conocida, que tiene dos hornos rotatorios de 60 m. cada uno de longitud por 2,75 m. de diámetro, que trabajan por vía húmeda. Cada horno va equipado con un ventilador "Sirocco" de tiro inducido de 2,23 m. de diámetro, que tiene una capacidad de unos 2,000 m³ por minuto, venciendo una contrapresión de 57 mm. de columna de agua, a una temperatura de unos 400° C, y va accionado por un motor de velocidad variable, directamente acoplado, de 75 C.V.

En las condiciones generales de funcionamiento son aproximadamente las resultan de la producción de 7 kg. de gases calientes por cada kg. de clinker producido; la producción máxima del horno es de 1,5 toneladas de clinker por hora, por lo que el volumen de gases viene a ser de unos 1,900 m³ por minuto, cuando se fabrican 3,000 toneladas de cemento seriales.

Cada una de las dos chimeneas, cuya altura es de 23 m., sirve para un horno, y va provista de un colector de presión en derivación; las chimeneas tienen un diámetro de 2,60 m., y van equipadas con un revestimiento de ladrillos por su parte interior, cuyo espesor es de 11,5 cm.; en condiciones normales de trabajo, y cuando se cuecen 8 toneladas de clinker por hora, se recogen unos 75 kg. de polvo por hora. Este polvo se halla en un estado de división sumamente fino, dando un residuo medio del 17,32% sobre el tamiz de 6,200 mallas por cm², pasa, por consiguiente, un 82,52% a través de dicho tamiz, y un 49,26% a través del de 16,400 mallas por cm², siendo su peso específico de 1,217 g. por cm³. Los gases que salen del colector y pasan a la chimenea se hallan completamente limpios.

El local de envasado está equipado con 3 ensacadoras Bates de dos boquillas, capaz cada una de ensacar 25 toneladas de cemento por hora en sacos de papel de 50 kg., y está provisto de colectores de polvo "Sirocco" de tipo directo, que recogen todo el polvo de la atmósfera, y mantienen dicho local en excelentes condiciones de ventilación y libre de toda clase de polvo. El polvo separado por estos colectores del local de las ensacadoras es sumamente fino, dejando un residuo de 5,125% sobre el tamiz de 6,200 mallas, a través del cual pasa un 94,57%, y pasando un 25,8% a través del tamiz de 16,400 mallas.

La fabrica representada en los grabados es como sigue: Fig. 1 (pág. 902) Colector de polvo usado con un horno rotatorio; capta una tonelada de polvo por hora. Fig. 2 (pág. 903) Otro colector semejante que capta de 800 a 900 kgs. de polvo por hora. Fig. 3 (pág. 904) Colector de polvo colocado encima de la cámara de polvo. Fig. 4 (pág. 905) Colector de polvo instalado en el local de envasado.

AT CHANDLER 1/2

Anuncios.

Todas las propuestas de anuncios en "CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE" Internacional, deben dirigirse a "Concrete Publications, Limited," 20, Dartmouth Street, London, S.W.1, Inglaterra.

Todos los textos de anuncios deben estar en nuestro poder a más tardar el día 25 del mes que preceda a su publicación. Si en aquella fecha no se ha recibido nuevo texto, los editores se reservan el derecho de repetir el texto del anuncio anterior.

En caso de que los anuncios se hayan de publicar en más de un idioma, el anunciante debe suministrar las traducciones. Si desea, los editores se encargan de dicha traducción, pero solamente en la inteligencia de que no aceptan ninguna responsabilidad acerca de su exactitud.



Complete Cycle for CEMENT WORK

New Automatic Packing Machine for

231

Rotary Fluxo Packer.



Protected by patents in all countries.

F.L. SMIDTH & CO.

Engineers

VICTORIA STATION HOUSE, VICTORIA STREET

LONDON, S.W.

Telephone FRANKLIN 6107-6108

Telegrams FOLASMIDTH, SOWEST, LONDON

CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE

Trades Directory.

Hemisphere. Répertoire des Adresses. Directorio Clasificados.

AIR SEPARATORS

Separadores de air
Windsichter

Separadores de aire

Alpine A.-G.
Andreas, Gm b.H.
Bondard, H.
Davidson & Co., Ltd
Visco Engineering Co., Ltd

BAGS & SACKS (Paper)

Papier- und Stoffsäcke

Sacs en papier

Sacos

Bates International Bag Co.
Colthrop Board & Paper Mills,
Ltd.
Dowdings, Ltd.
Kraft Sacks, Ltd.
Paper Sacks, Ltd.

BELTING

Treibriemen

Courroies

Correas

Beldam Packing & Rubber Co.,
Ltd.
Dawson, James, & Son, Ltd
Lewis & Tyler, Ltd
Reddaway, F., & Co., Ltd

BOILERS

Kessel

Chaudières

Calderas

Bulcock & Wilcox, Ltd

BUCKETS (Elevator and
Conveyor)Becker für Elevatoren und
Transporteure

Godets pour élévateurs

Cangilones (en los eleva-
dores y transportadores)

Bleichert, Adolf, A.-G.
Sté. Ame. des Excavateurs Nor-
mand & D'Haille.

CABLEWAYS

Seilbahnen

Transporteurs aériens

Cables Vías de cable

Bleichert, Adolf, A.-G.

CASTINGS

Gehäuse

Moulages d'acier

Piezas de fundición

Brown, John, & Co., Ltd.
Krupp Gussonwerk A.-G.
Vickers-Armstrongs, Ltd

CLUTCHES

Kuppelungen

Embrayages

Engranajes

Davidson, Thomas, & Sons, Ltd.
Power Plant Co., Ltd.
Widdoworth, F., & Co., Ltd.

CONTROLLERS (Electric)

Elektrische Schaltanlagen

Combinateurs électriques

Controlles o reguladores
(eléctricos)

Hilson, George
Kynrolle, V., & Co., Ltd

CONVEYORS & ELE-
VATORSTransporteure und Eleva-
toren

Transporteurs et Elevateurs

Transportadores y eleva-
dores

Andrew, Gm b.H.
Bleichert, Adolf, A.-G.
Constantin, F.
Ewart Chain Belt Co., Ltd
Faser & Chalmers Engineering
Work
Hephner Conveyor Co., Ltd
Lewis & Tyler, Ltd
New Conveyor Co., Ltd
Polysius, G., A.-G.
Renold Huls, Ltd
Sté. Ame. Des Excavateurs Nor-
mand & D'Haille

CRANES

Krane

Grues

Grúas

Bulcock & Wilcox, Ltd
Broadbent, Thomas & Son, Ltd
Vickers-Armstrongs, Ltd

CRUSHERS

Brecher

Broyeurs et Cribles

Trituradoras

Allen, Edgar, & Co., Ltd
Andreas, Gm b.H.
Bondard, H.
Bradley Pulverizer Co.
British & Foreign Machinery Co.
British-Roma Manufacturing Co.
Ltd
Candlot, Ch. J.
Dixie Machinery Manufacturing
Co.
Johnson, Wm., & Sons (Leeds),
Ltd
Krupp Gussonwerk A.-G.
Mag. Mühlenbau und Industrie
A.-G.
Manning & Industrial Equipment,
Ltd
Proffer Gm b.
Smidth, F. L., & Co., Ltd
Vickers-Armstrongs, Ltd
Polysius, G., A.-G.

DRAGLINE EXCAVA-
TORS

Bagger mit Leitseil

Excavateurs à câbles

Excavadoras o dragas de
cable

Bleichert, Adolf, A.-G.

Continued on page viii.

DRILLS, ROCK

Gesteinsbohrer

Perforatrices

Taladros, perforadoras o
barrenadoras para roca
Sullivan Machinery Co., Ltd

DUST COLLECTING
PLANT

Staubabscheidungssysteme

Collecteurs de poussières

Sistemas de captacion de
polvo

Alpine A.-G.
Andrew, Gm b.H.
Bondard, H.
Davidson & Co., Ltd
Manning & Industrial Equipment
Ltd
Polysius, G., A.-G.
Visco Engineering Co., Ltd

ELECTRIC CABLES AND
WIREElektrische Kabel und
Drähte

Câbles électriques

Cables y alambres eléctricos
Glover, W. L., & Co., Ltd

ENGINES (HEAVY OIL)

Kraft-Maschinen Stationäre

(Rohöl - Verbrennungs-
Motore)

Moteurs à huile lourde

Motores (aceite pesado)

Ruston & Hornsby, Ltd
Vickers-Armstrongs, Ltd

EXCAVATING
MACHINERY

Löffelbagger

Excavateurs

Maquinaria excavadora

Ruston Buxton, Ltd
Smidth, F. L., & Co., Ltd
Stuck & Hambrook A.-G.

FANS

Ventilatoren

Ventilateurs

Ventiladores

Davidson & Co., Ltd
General Electric Co., Ltd

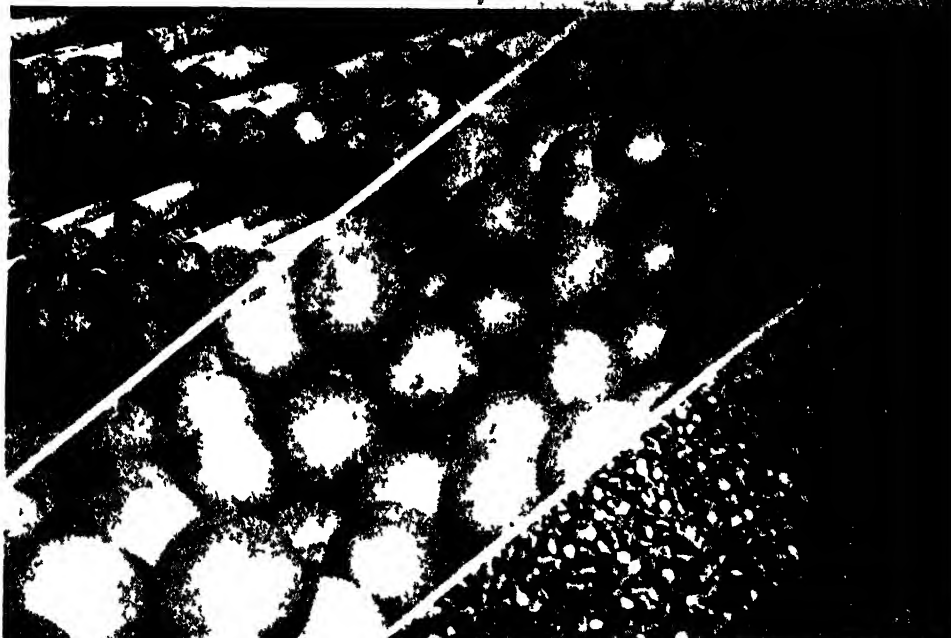
GEARS (HELICAL)

Schraubenräder

Engrenages hélicoïdaux
Mecanismo o engranaje

(helicoidal)

Brown, David, & Sons, Ltd
Krupp Gussonwerk A.-G.
Luth & Rosen, Ltd
Platt, Samuel, Ltd
Power Plant Co., Ltd
Societe Anonyme Des Engren-
ages Citroen
Wallwork H., & Co., Ltd



"Stahlunion" Forge Steel Balls

for all kinds of Grinding Mills,
manufactured of steel of natural
hardness in the most careful exe-
cution

We also supply **Cylpebs** and
Grinding Rods, brand
"Stahlunion" from the same
high grade natural hard steel

Geschmiedete Stahlkugeln Marke "Stahlunion"

aus naturhartem Spezialstahl in
sauberster Ausführung für alle
Kugelmühlen

Aus dem gleichen hochwertigen
naturharten Stahl liefern wir
Cylpebs und **Mahlstäbe**
Marke "Stahlunion"

Boulets en acier forgé Marque "Stahlunion"

en acier special de dureté natu-
relle, execution la plus soignée
pour tous broyeurs à boulets. Nous
livrons également les **Cylpebs**
et les **Batons** marque "Stahl-
union" dans le même acier de
dureté naturelle, à haute résistance.

Bolas de acero forjado, marca "Stahlunion"

de acero especial de dureza
natural, de esmerada ejecución,
para molinos a bolas de todas
clases

De la misma alta calidad de acero,
de dureza natural, suministramos
también **cylpebs** y **barras** para
molinos, marca "Stahlunion."

VEREINIGTE STAHLWERKE

A K T I E N G E S E L L S C H A F T

HUTTE RUHRORT-MEIDERICH, DUISBURG-RUHRORT

GERMANY DEUTSCHLAND ALLEMAGNE ALEMANIA

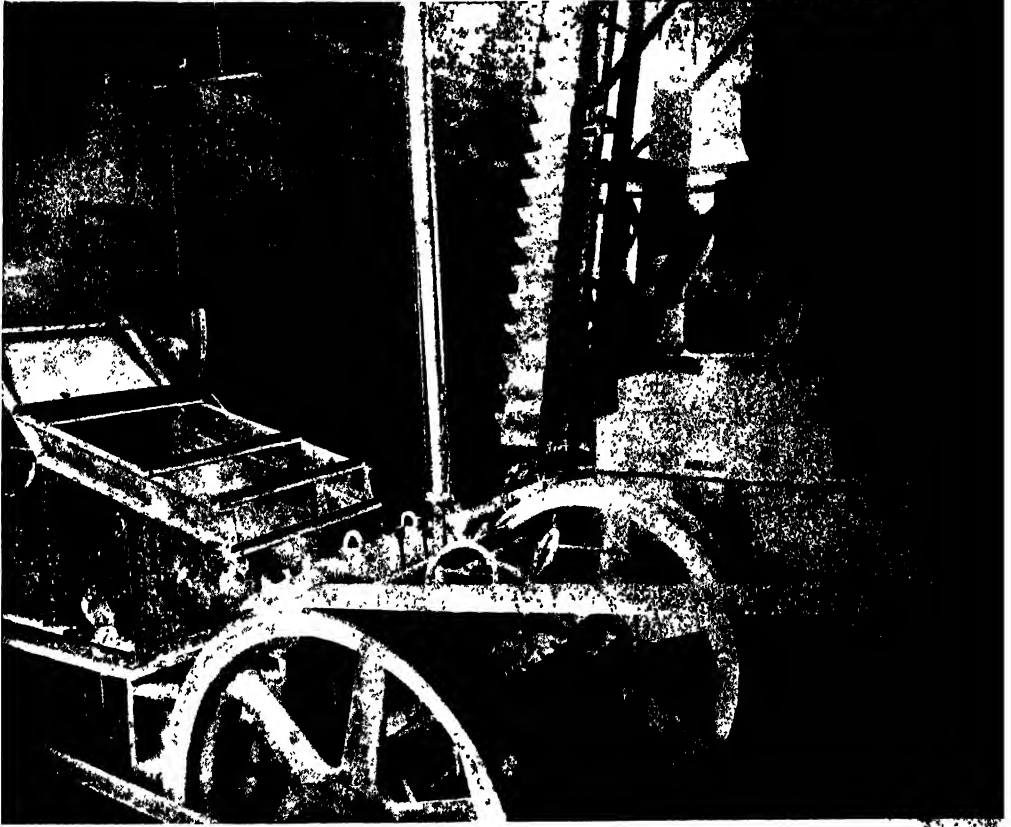


Trades Directory.—(Continued from page vi).**Bezugsquellen.****GRINDING BALLS****Mühlkugeln****Boulets en acier pour broyeurs****Bolas molinadoras****Broyeurs métalliques des I. M.****Engius.****Hellpels, Ltd.****Kordt & Rosch, A.-G.****Vereinigte Stahlwerke A.-G.****HOISTING MACHINERY****Aufzüge****Appareils de levage****Elevadores****Fraser & Chalmers Engineering Works.****General Electric Co., Ltd.****Ruston & Hornsby, Ltd.****Sullivan Machinery Co., Ltd.****Vickers-Armstrongs, Ltd.****KILN LININGS****Ofenfutter****Produits réfractaires****Forro o revestimiento del horno****Curtis, A. L.****Davidson, Charles, & Co., Ltd.****General Refractories Co.****Gibbons (Dudley), Ltd.****Green, A. P., Firebrick Co.****Pearson, E. J. & J., Ltd.****Stein, J. G., & Co., Ltd.****KILNS AND COOLERS****(Rotary)****Drehöfen und Kühler****Fours rotatifs****Hornos y enfriadores (rotatorios)****Allen, Edgar, & Co., Ltd.****Andreas, G. m. b. H.****Bellner & Ziegler.****Griener, Curt von.****Head, Wrightson & Co., Ltd.****Johnson, Wm., & Sons, Ltd.****Krupp Grusonwerk A.-G.****Newell, Ernest, & Co., Ltd.****Ming Mühlenbau und Industrie, A.-G.****Polysius, G., A.-G.****Smidth, F. L., & Co., Ltd.****Vickers-Armstrongs, Ltd.****KILNS (SHAFT)****Schachtöfen****Fours Verticaux****Hornos (verticales)****Andreas, G. m. b. H.****Boudard, H.****Candlot, Ch.-E.****Krupp Grusonwerk, A.-G.****LUBRICANTS****Schmiermittel****Lubrifiants et huiles****Lubrificantes****Diamond Lubricating Co., Ltd.****PUMPS (CEMENT)****Zementpumpen****Pompas pour pâte à ciment****Bombas para cemento****Constantin, E.****Répertoire des Adresses.****MILLS, GRINDING****Mühlen****Broyeurs****Molinos****Allen, Edgar, & Co., Ltd.****Andreas, G. m. b. H.****Bellner & Ziegler.****Griener, Curt von.****Head, Wrightson & Co., Ltd.****Humboldt-Deutzmotoren A.-G.****Johnson, Wm., & Sons, Ltd.****Krupp Grusonwerk A.-G.****Newell, Ernest, & Co., Ltd.****Ming Mühlenbau und Industrie, A.-G.****Pfeiffer, Gebr., A.-G.****Polysius, G., A.-G.****Smidth, F. L., & Co., Ltd.****Vickers-Armstrongs, Ltd.****MOTORS AND GENERATORS (Electric)****Elektrische Motore und Generatoren****Générateurs et Moteurs Electriques****Motors y generadores (eléctricos)****Bruce Peebles & Co., Ltd.****Crompton Parkinson, Ltd.****General Electric Co., Ltd.****PACKING MACHINERY****Packmaschinen****Ensacheuses automatiques****Maquinaria de envasado****Andreas, G. m. b. H.****Bates International Bag Co.****Haver & Boecker.****Librawerk, m. b. H.****Paper Sacks, Ltd.****Polysius, G., A.-G.****PACKINGS****Packungen****Garnitures de presse-****étoupes****Envasas****Beldan Packing & Rubber Co., Ltd.****Boudard, H.****Bradley Pulverizer Co.****British Kenna Manufacturing Co., Ltd.****Griener, Curt von.****Johnson, Wm., & Sons (Leeds), Ltd.****Mining & Industrial Equipment, Ltd.****PULVERIZERS****Mahlmaschinen****Broyeurs à charbon et coke****Pulverizadores****Boudard, H.****Bradley Pulverizer Co.****British Kenna Manufacturing Co., Ltd.****Griener, Curt von.****Johnson, Wm., & Sons (Leeds), Ltd.****Mining & Industrial Equipment, Ltd.****RAILWAY EQUIPMENT****Bahnmaterial****Equipo ferroviario****Hudson, Robert, Ltd.****REFRACTORIES****Feuerfeste Materialien****Produits réfractaires****Refractarios****Curtis, A. L.****Davidson, Charles, & Co., Ltd.****General Refractories Co.****Gibbons (Dudley), Ltd.****Goss, G. P., & Co.****Stein, J. G., & Co., Ltd.****Directorio Clasificados****SAND (Cement Testing)****Sand zur Zementprüfung****Sable pour essais de****ciment****Arena (ensayos del****cemento)****Curtis, A. L.****SCREENS****Siebe****Tamis****Tamices****Locke, Thomas, & Co., Ltd.****Mining & Industrial Equipment, Ltd.****Locke, Thomas, & Co., Ltd.****Mining & Industrial Equipment, Ltd.****SLURRY MIXERS****Schlammmischer****Malaxeurs****Mezcladores de pasta,****amasadoras****Andreas, G. m. b. H.****Newell, Ernest, & Co., Ltd.****TESTING MACHINES & APPARATUS****Prüfmaschinen und Appa-****arate****Machines à essayer****Aparatos de ensayos****Avery, W. & T., Ltd.****Ansler, Alfred J., & Co.****Bailey, Sir W. H., & Co., Ltd.****Beard & Fitch, Ltd.****Cheniches, Laboratorium für****Industrie****Howden, F. C., & Co.****MacKlow Smith, A.****Richter, Oscar A.****Salter, G. & Co., Ltd.****VALVES****Ventile****Vannes****Válvulas****Alley & MacLellan, Ltd.****WASTE HEAT BOILERS****Abhitzeessel****Chaudières (à chaleur****perdue)****Calderas de aprove-****chamiento de calor per-****dido****Balcock & Wilcox, Ltd.****Candlot, Ch.-E.****WASTE HEAT RECOVERY SYSTEM****System zur Wieder-****gewinnung von Abwärme****Récupération des chaleurs****perdus****Sistema de recuperacion de****calor perdido****Industrial Engineers, Ltd.****WEIGHERS****Waagen****Bascules automatiques****Pesadores****Avery, W. & T.****Boudard, H.****Denson, Saml., & Sons, Ltd.****Polysius, G., A.-G.**

SEPTEMBER 1931

CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE

COMPLETE CRUSHING EQUIPMENT



A ROCK CRUSHING PLANT USING AN ALLEN PRIMARY JAW CRUSHER, ALSO CRUSHING ROLLS, ELEVATORS, ETC.

Edgar Allen Equipment includes

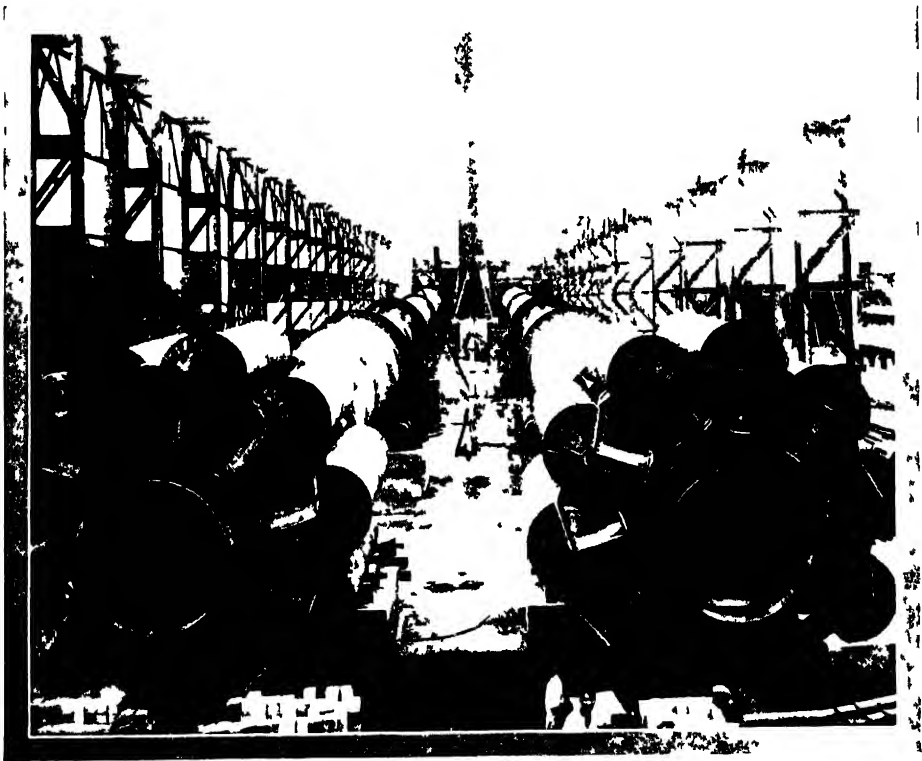
Complete Equipment for Crushing, Screening, and Cement and Lime Plants.—Gyratory, Jaw and Roll Crushers.—Hammer Mills.—Tube Mills.—Rotating and Vibrating Screens.—Feeders, Bucket-type Elevators.—Complete Portable Crushing Plants, etc., etc.

Descriptive literature sent on request.

Edgar Allen & Co. Ltd.
Imperial Steel Works,
Sheffield.

VICKERS-

CEMENT MAKING MACHINERY



Published by Courtesy of the Green Island Cement Co

ROTARY KILNS, BALL MILLS, TUBE MILLS,
DRIERS, CRUSHERS, CRUSHING ROLLS,
MIXERS, AGITATORS, ETC.



ARMSTRONGS LIMITED

The illustration shows two of the Vickers Patent Rotary Reflex Kilns in course of erection at the new works of the Green Island Cement Co., Ltd., Hongkong. These kilns form part of the contract for a complete works having a capacity of 2,000 tons of cement per week, secured by Vickers-Armstrongs Ltd.

La figure montre deux des fours rotatifs Reflex Vickers, en cours de montage aux nouvelles Usines de la Green Island Cement Co., Ltd., à Hongkong. Ces fours forment une partie d'un contrat relatif à une usine ayant une capacité de 2,000 tonnes de ciment par semaine, assuré par VICKERS-ARMSTRONGS LTD.

Die Abbildung zeigt zwei der patentierten Vickers-Reflex-Drehöfen während der Montage auf dem neuen Werk der Green Island Cement Co., Ltd., Hongkong. Diese Oefen bilden einen Teil des, der Firma Vickers-Armstrongs Ltd., erteilten Auftrages für die vollständige Fabrik mit einer wöchentlichen Kapazität von 2,000 t Zement.

La figura representa dos de los hornos rotatorios Reflex patente Vickers, durante su montaje en la nueva fábrica de la Green Island Cement Company, Limited, de Hongkong. Estos hornos forman parte del pedido de una fábrica completa para una capacidad de 2,000 toneladas semanales de cemento, obtenido por la Vickers-Armstrongs Limited.

All Enquiries to Works:

BARROW - IN - FURNESS.

Head Office: VICKERS HOUSE,
BROADWAY, LONDON, S.W.1.

BULK. CEMENT v. SACKS

**IMPORTANT !
FULLER - KINYON
COST - REDUCING
SYSTEMS.**



WHICH IS BETTER ?

Any quantity from silos to depot in one operation at less than 6d. a ton – or one cwt. in one sack with its very high handling costs.

The FULLER KINYON portable unloader for bulk cement is now being used by a large number of cement organisations throughout the world because bulk cement reduces transport costs and gives a better service.

PORTABLE UNLOADER FOR BULK CEMENT

No. 3.

A SPACE-SAVING CONVEYING SYSTEM

The FULLER - KINYON PUMP has definite cost-saving advantages over all other systems of mechanical conveying and transporting. Its unique features of lay-out and control is entirely unrestricted by space limitations and straight-line methods. No Cement Works Engineers should be without full particulars of the FULLER - KINYON PUMPING SYSTEMS. Write to us to-day.

The FULLER KINYON PORTABLE UNLOADER will pump cement to any number of delivery points by one operation from the one machine. The rate of delivery is up to 5 tons an hour through a pipeline of 100 feet. The total cost of handling this quantity, including labour and power, is less than 10s. The whole operation is simple, and very little physical effort is required. Write to us for full particulars of the capacities and types of the Fuller Kinyon bulk cement unloader.

E. CONSTANTIN, LTD.

105, RUE LAFAYETTE, PARIS.

Telegrams 'Fullengcoy, Paris'

Sole Licences (except for pulverised coal) for England and France, Holland, Belgium, Luxembourg, Switzerland, Spain, Portugal and their respective colonies.

Patentees THE FULLER COMPANY CATASAUQUA PENNA USA

THIS RESULT—

Before Re-construction
Output 120 tons
Coal consumption 35%

After Re-construction :
Output 182 tons
Coal consumption 23.5%



— HAS BEEN OBTAINED

with a Rotary Kiln (Krupp Grusonwerk
 Andreas Design) working on the wet
 process.

Have your Rotary Kilns re-constructed
 in accordance with our modern and
 successful process.

Please send us
 your enquiries



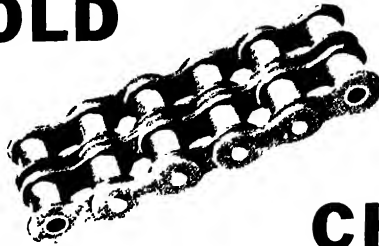
FRIED. KRUPP GRUSONWERK A.-G.

MAGDEBURG

Agents in Great Britain and Ireland—
J. ROLLAND & CO., Engineers,
 Abbey House, 2 Victoria Street, LONDON, S.W.1.
 Telephones 1328
 Victoria and 4847

The harder the service,
the greater the need for

RENOLD

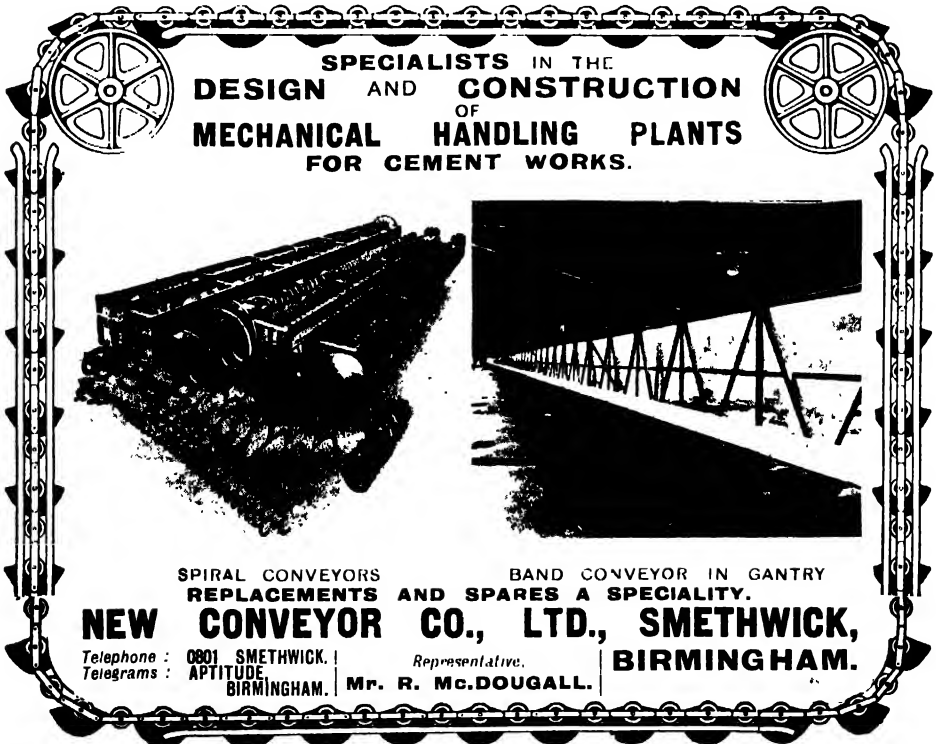


CHAIN

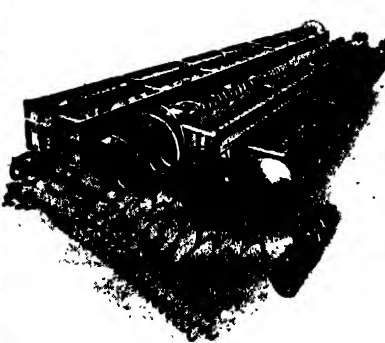

on your Transport Vehicles

HANS RENOLD LIMITED MANCHESTER ENGLAND

Branches and Stock Depots in LONDON BIRMINGHAM MANCHESTER LIVERPOOL LEICESTER LUDS BRISTOL & GLASGOW



**SPECIALISTS IN THE
DESIGN AND CONSTRUCTION
OF
MECHANICAL HANDLING PLANTS
FOR CEMENT WORKS.**

**SPIRAL CONVEYORS BAND CONVEYOR IN GANTRY
REPLACEMENTS AND SPARES A SPECIALITY.**

**NEW CONVEYOR CO., LTD., SMETHWICK,
BIRMINGHAM.**

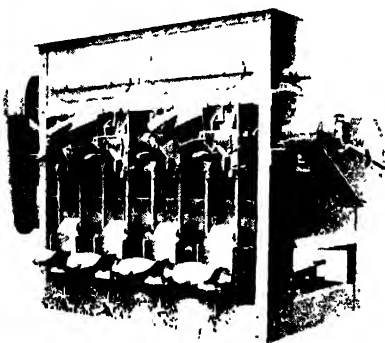
Telephone : 0801 SMETHWICK.
Telegrams : APTITUDE BIRMINGHAM.

Representative,
Mr. R. McDOUGALL.



Dans ces quatre importantes cimenteries,
9 machines "MODERN"
sont le seul type de machine
à emballer installé.
Nous construisons des
machines automatiques à
ensacher et à peser avec un
à quatre ajutages, pour
sacs à valve.

9 Máquinas "MODERN"
son el único tipo de en-
sacadora instalado en
estas cuatro importantes
fábricas de Cemento.
Construimos máquinas
automáticas de ensacar y
pesar con uno a cuatro picos
para sacos con válvula.

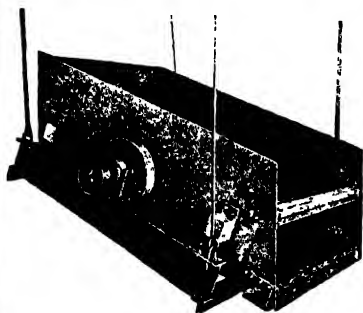


At these four important CEMENT
WORKS

9 "MODERN" MACHINES

are the only type of packers installed.

We build automatic packing and
weighing machines with one to
four spouts for valve bags.



"NIAGARA" Vibrating Screens for the
most severe screening problems in the Cement,
Lime and Allied Industries.

Thousands in constant operation.

Les tamis vibratoires **"NIAGARA"** résolvent les
plus difficiles problèmes des industries du Ciment,
de la chaux, et des industries analogues.

Des milliers sont en service constant.

Tamices Vibradores "NIAGARA" para los
trabajos de tamizado más áridos en las industrias
del cemento, de la cal y otras afines.

Millares en servicio constante.



WIRE TIES for binding bags and reinforced concrete rods.

Attaches en fil de fer pour la ligature des sacs et barres pour béton armé.
Ligaduras de alambre para atar sacos y varillas para el hormigón
armado.

HAVER & BOECKER, OELDE, i.W., Germany.

Sole British Agents.

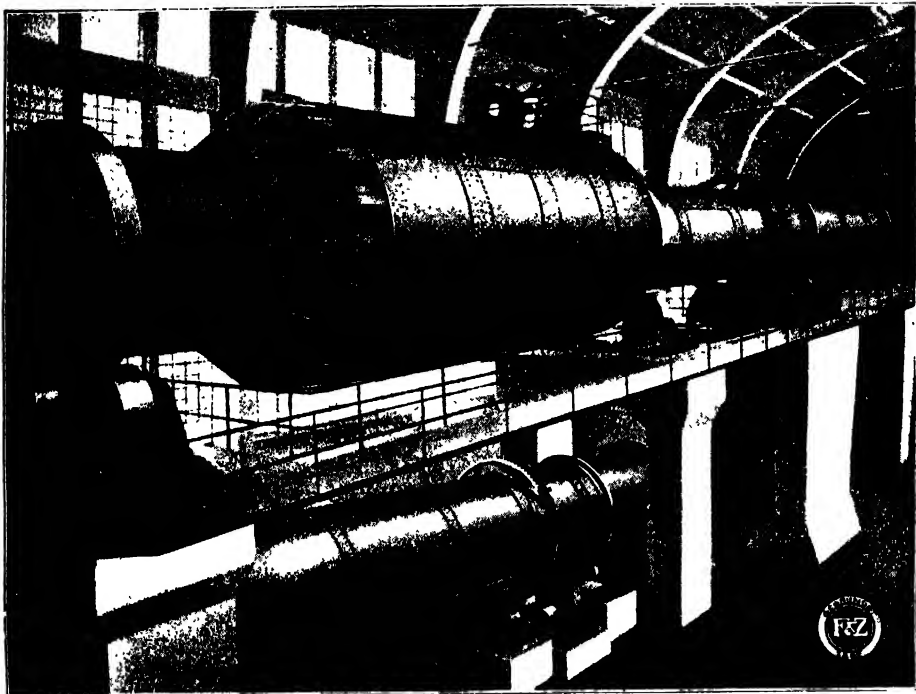
J. DARNLEY TAYLOR & Co., Ltd., Cecil Chambers, Strand, W.C.2.

Temple Bar 7558.

FELLNER & ZIEGLER

FRANKFORT on MAIN-WEST, GERMANY.

A.-G.



COMPLETE INSTALLATIONS FOR CEMENT WORKS



The above is an illustration of one of our rotary Kiln installations 164 feet long by 10 feet diameter, provided with our patent enlarged calcination zone 30 feet long by 17 feet diameter, and waste-heat boiler plant. The output is 300 tons per day of highest quality uniformly burnt clinker produced at lowest possible fuel consumption.

Sole Representatives for British Territories:

J. DARNLEY TAYLOR & CO., LTD., Engineers,
Cecil Chambers, Strand - - - London, W.C.2.

Telephone No.: Temple Bar 7358. Telegrams: "Idryall, Rand, London."

INSTALACIONES COMPLETAS DE FABRICAS DE CEMENTO

Esta figura representa una instalacion de hornos giratorios de 3 m de diametro y de 50 m de largo, con zona de calcinacion ensanchada de 5 m de diametro y 9 m de largo, con recuperacion de los gases de escape. Con un rendimiento de 300 toneladas por dia, fornece un clinker uniforme de mejor calidad, el consumo de combustible siendo reducido lo mas posible.

FELLNER & ZIEGLER A.-G.
Frankfurt a/M.-West, Alemania.

VOLLSTÄNDIGE EINRICHTUNG VON ZEMENTFABRIKEN

Diese Abbildung stellt eine Drehofen-Anlage von 3 m Durchmesser und 50 m Länge mit patentierter erweiterter Kalzinerzone von 5 m Durchmesser und 9 m Länge, unter gleichzeitiger Verwendung der Abhitze, dar. Bei einer Leistung von 300 Tonnen täglich liefert sie bei niedrigstem Brennstoffverbrauch einen gleichmassigen hochwertigen Klinker

FELLNER & ZIEGLER, A.-G.
FRANKFORT, a/M.-WEST.

INSTALLATIONS COMPLÈTES D'USINES À CIMENT

Cette figure représente une installation de fours rotatifs de 3 m de diamètre et d'une longueur de 50 m, à zone élargie de calcination brevetée d'un diamètre de 5 m et d'une longueur de 9 m, avec récupération des gaz perdus. Ayant un rendement de 300 tonnes par jour, elle fournit un clinker régulier de la meilleure qualité, en réduisant en même temps autant que possible la consommation du combustible.

FELLNER & ZIEGLER, A.-G.
Frankfurt a/M.-West, Allemagne.

HENNEF ENGINEERING WORKS

(C. REUTHER & REISERT, LTD.)

HENNEF - ON - SIEG :: GERMANY

Makers of the First Gaugeable Automatic Weighing Machine.

OVER 50 YEARS' EXPERIENCE IN THE MANUFACTURE OF "CHRONOS" PATENT AUTOMATIC WEIGHING MACHINES FOR ALL PURPOSES.

'CHRONOS' AUTOMATIC WEIGHING MACHINES

for cement, gypsum, clinker, and coal. Also for proportioning raw materials.

'CHRONOS' AUTOMATIC PACKING AND WEIGHING MACHINES

for cement, gypsum, lime and ground slag, etc.

Patented in all countries

A list of cement making firms who have installed "CHRONOS" machines will be sent on request

BALANCES AUTOMATIQUES 'CHRONOS'

pour le pesage de matières pulvérulentes et en morceaux (ciment, plâtre, klinkers, charbon, etcétera) pour le dosage de matières premières.

BALANCES AUTOMATIQUES 'CHRONOS'

étanches de poussières pour l'ensachage de ciment, plâtre, farines de chaux, de scories Thomas etcétera.

Brevetées dans tous les pays industriels. Références de tout 1^{er} ordre.

CHRONOS

MÁQUINAS PESADORAS AUTOMÁTICAS 'CHRONOS'

para cemento, yeso, clinker y carbón, así como para la dosificación de primeras materias

MÁQUINAS PESADORAS Y ENVASADORAS AUTOMÁTICAS 'CHRONOS'

para cemento, yeso, cal y escorias molidas, etc. Patentadas en todos los países. Permítanos enviarle la lista de las casas productoras de cemento que han instalado máquinas "CHRONOS."

AUTOMATISCHE WAAGEN ,CHRONOS'

für pulverförmige und stückige Materialien (Zement, Gips, Klinker, Kohlen usw.) und zum Mischen der Rohmaterialien

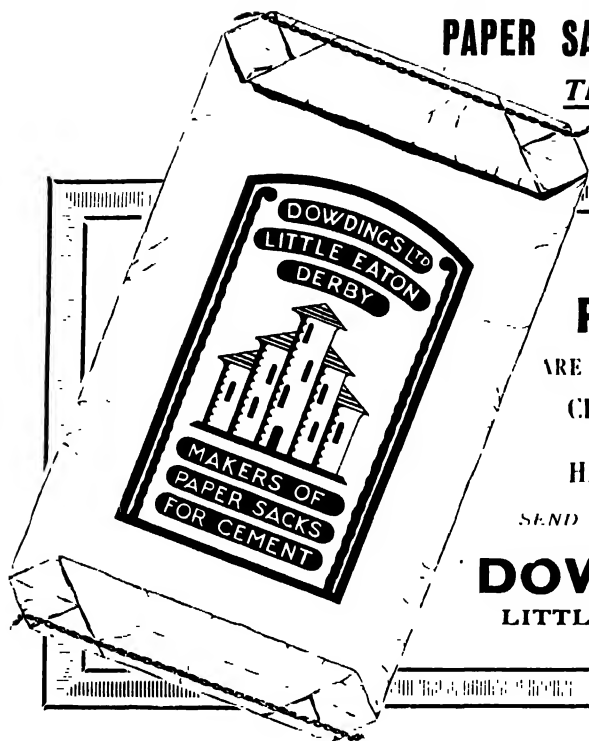
SELBSTTÄTIGE ABSACKWAAGE ,CHRONOS'

staubdicht, zum Absacken von Zement, Gips, Kalkmehl, Thomasschlackenmehl usw.

Patente in allen Industriestaaten. Zahlreiche vorzügliche Zeugnisse.

FULL PARTICULARS OF THE "CHRONOS" AUTOMATIC WEIGHING MACHINE WILL BE SENT ON REQUEST.

HENNEFER MASCHINENFABRIK C. REUTHER & REISERT m.b.H.
HENNEF - ON - SIEG, GERMANY.



PAPER SACKS FOR ALL PURPOSES

THE MOST RELIABLE
FOR EXPORT TRADE.

OUR PAPER SACKS

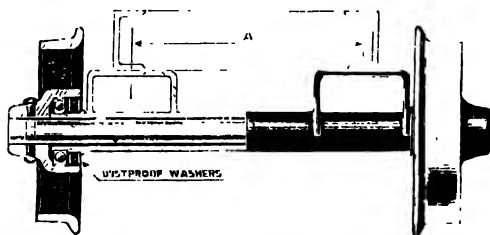
ARE MORE ECONOMICAL FOR THE
CEMENT MANUFACTURER
AND
HANDIER FOR THE USER.

SEND FOR FULL PARTICULARS

DOWDINGS LTD.

LITTLE EATON, DERBY,
ENGLAND.

LUBRICATE YOUR TRUCKS ONCE A YEAR!



**SAVE 85% IN LUBRICATION,
75% IN STARTING EFFORT
& 50% IN HAULAGE POWER.**

Best quality Ball or Roller Bearings. Patent greasing system, only requires attention once a year. Great saving in grease, time and labour. Longer life, easier handling, greater output. **WRITE FOR FULL PARTICULARS** of both types, continuous axle and differential.

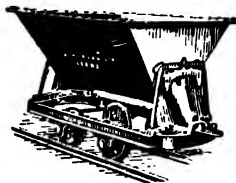
USE

HUDSON'S PATENT BALL-BEARING WHEELS & AXLES

Hudson's are actual makers of

TIPPING WAGONS

TRACK and ALL ACCESSORIES, STEAM & DIESEL LOCOS, Etc.



LONDON :
SUFFOLK HOUSE,
CANNON STREET,
E.C.4.

ROBERT HUDSON LTD.

38^A BOND ST., LEEDS

Works: GILDERSOME FOUNDRY, near LEEDS.

Telegrams & Cables (all offices) : "RALETRUX."

Also at
Johannesburg, Durban,
Salisbury, Bulawayo,
Beira, Luanda, Lobito,
Mauritius, Singapore,
Cairo and Calcutta.



THEY NEVER KNEW OF THEIR LOSS. . . .

Until an Avery Scale Engineer found it out for them. Now they have written: "A definite saving of £11 was made in the first week."

WE MAY BE ABLE TO DO THE SAME FOR YOU

Write for particulars to I.V.W., Service Dept. W.1567, W. & T. Avery, Limited, Soho Foundry, Birmingham.

SIE KANNTEN IHRE VERLUSTE NICHT . . .

bis ein Avery Waagen-Ingenieur diese festgestellt hat. Darauf schrieb man uns: "Wirkliche Einsparungen von RM 220 konnten wir in der ersten Woche machen."

ES KANN MOGLICH SEIN, FÜR SIE DASSELBE ZU TUN.

Verlangen Sie daher heute noch volle Unterlagen von I.V.W., Service Dept W 1567, W & T. Avery, Ltd, Soho Foundry, Birmingham, England

ILS NE CONNURENT JAMAIS LEURS PERTES

jusqu'à ce qu'un ingénieur de chez "AVERY" les eut trouvées pour eux. Maintenant ils nous écrivent: "Une économie nette de 11 livres fut faite la première semaine"

NOUS POURRIONS FAIRE LA MÊME CHOSE POUR VOUS.

Ecrivez donc pour tous renseignements à I.V.W., Service Dept W. 1567, W. & T Avery, Ltd., Soho Foundry, Birmingham, Angleterre.

NUNCA SE DIERON CUENTA DE LA PERDIDA.

Hasta que un Ingeniero de Balanzas Avery se la descubrió. Ahora escriben: "En la primera semana se ha conseguido una economía efectiva de £11."

PODRÍAMOS HACER LO MISMO POR USTED.

Escriba solicitando detalles a: I.V.W., Service Dept. W.1567, W. & T. Avery, Ltd, Soho Foundry, Birmingham, Inglaterra.

CHROMOIDS

"CHROMOIDS" — world-renowned Grinding Media of extreme Hardness and Toughness—is supplied in both Spherical and Cylindrical types — may we send you samples and prices?

SPHERES or CYLINDERS

Die weltbekannten „Chromoid“-Mahlkörper von grosster Härte und Zähigkeit werden in kugel- und zylinderförmiger Art geliefert. Dürfen wir Ihnen Muster senden und ein Preisangebot machen?

S
P
H
È
R
E
S

O
U

K
U
G
E
L
N

O
D
E
R

C
Y
L
I
N
D
R
E
S

Z
Y
L
I
N
D
E
R

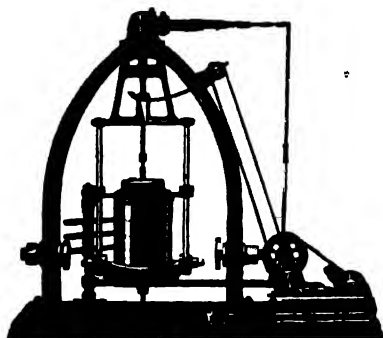
"CHROMOIDS" — Les organes de broyage de réputation mondiale d'une extrême dureté et d'une extrême résistance sont fournis sous la forme sphérique ou cylindrique. Pouvons-nous vous envoyer des échantillons et des prix?

ESFERAS O CILINDROS

'CHROMOIDS.' Elementos molituradores de fama mundial por su extrema dureza y tenacidad. Se suministran tanto de tipo esférico como de tipo cilíndrico. ¿Podemos enviar a Vd. muestras y precios?

HELIPEBS LIMITED, GLOUCESTER, ENGLAND.

CEMENT TESTING MACHINES



Förderreuther's sifter for determining the size of grain of granulated or powdery substances. *Model 1931.*



Tonindustrie G.m.b.H
Abt.: Prüfmaschinenbau Berlin NW21

Menck Shovels of all sizes
all over the world!

MOD. VI
3 cu. yd.

MOD. II
0.6 cu. yd.




MENCK & HAMBROCK
ALTONA-HAMBURG



Sole Representatives in the United Kingdom:

JAMES McEWAN & Co., Ltd., Evelyn House, 101, Finsbury Pavement, LONDON, E.C.2.

A New Slant on an old Problem



The problem of picking the right shovel for heavy digging is solved when you turn to Ruston-Bucyrus — for this company owes its world leadership to a policy of providing the most efficient digging equipment. We have a machine exactly suited to your needs. We'll be glad to co-operate with you in its choice.

Une Nouvelle Solution d'un vieux Problème.

Le problème du choix de la meilleure pelle mécanique pour les terrassements difficiles est résolu si vous vous adressez à RUSTON BUCYRUS, parce que cette compagnie doit sa réputation mondiale à une politique consistant à fournir toujours le matériel de terrassement du plus haut rendement.

Nous avons une machine correspondant exactement à vos besoins. Nous serons heureux de coopérer avec vous dans son choix.

Eine neue günstige Gelegenheit zur Lösung eines alten Problems!

Das Problem, den richtigen Löffelbagger für schwierigen Aushub zu wählen, ist gelöst, wenn Sie sich Ruston-Bucyrus zuwenden, da diese Firma ihre führende Rolle in der Welt der Wahl der leistungsfähigsten Aushubausrüstung verdankt. Wir führen eine Maschine, die Ihren besonderen Ansprüchen genau entspricht. Wir würden uns freuen, bei der Auswahl mit Ihnen zusammenarbeiten zu können.

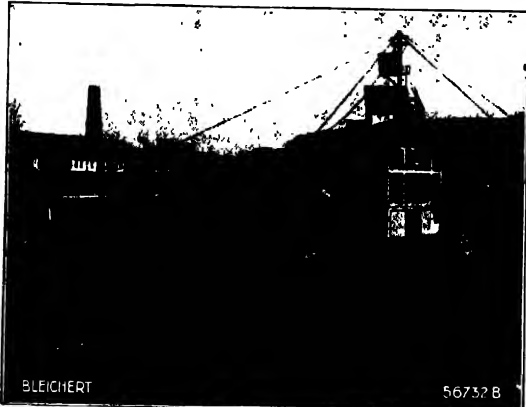
Nuevo sesgo de un viejo problema.

El problema de escoger la pala más adecuada para las excavaciones trabajosas queda resuelto con dirigirse Vd. a la Ruston-Bucyrus, pues esta Compañía debe su primacía mundial a su sistema de suministrar los equipos de excavación de máxima eficacia. Tenemos la máquina exactamente adecuada a sus necesidades. Tendremos una satisfacción en ayudarle en su elección.

**RUSTON —
BUCYRUS**

RUSTON - BUCYRUS, Ltd.
LINCOLN-ENGLAND.

BLEICHERT



Bleichert-Kleinkabelbagger fordert 7,5 cbm/h Kies aus der Sandgrube bei 4 m Wassertiefe.

Dragline Bleichert reprenant horairement 7,5 m³ de gravier de la sablière, à une profondeur d'eau de 4 mètres.

baut alle Förderanlagen für die Zement-Industrie

Bleicherts construct all kinds of Transporting Machinery for the Cement Industry.

Bleichert construit tous les genres d'installations de transport pour l'industrie du ciment.

Bleichert construye todas las instalaciones de transporte para la industria de cemento.

Bleichert Light-duty Drag Line Excavator raises 7½ cb. metres of Gravel from the Sand Pit. Depth of water 4 metres.

Excavador funicular de Bleichert retira 7,5 m. cúb. de grava por hora desde la mina de arena con agua de una profundidad de 4 metros.

**ADOLF BLEICHERT & CO. A.G. LEIPZIG,
GERMANY.**

CRUSHING SCREENING CONVEYING



CEMENT
SAND
GRAVEL
LIMESTONE
COAL
COKE
ORE
ETC., ETC.

Consult Fraser and Chalmers on all crushing, screening and conveying problems. This company has been entrusted with the design and manufacture of most of the largest plants in Great Britain as well as several important plants in Europe. A wide experience and complete understanding of the requirements in this field are placed unreservedly at your service.

FRASER & CHALMERS ENGINEERING WORKS

(Proprietors: The General Electric Co., Ltd.),

ERITH, KENT.

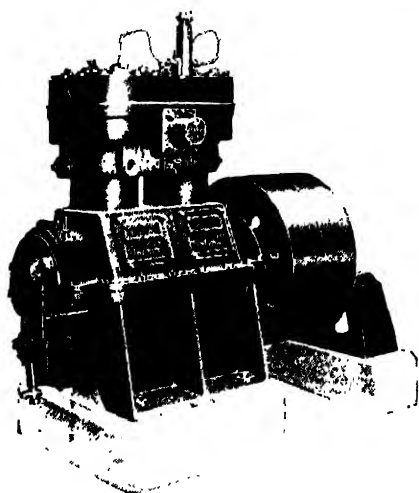
LONDON OFFICE: MAGNET HOUSE, KINGSWAY, W.C.2.

AIR COMPRESSORS

COMPRESSEURS A AIR

COMPRESORES DE AIRE

LUFTKOMPRESSOREN



TYPE "S"

Simple, efficient, reliable single stage machines for capacities to 350 cub. ft. per min. and pressures to 100 lbs. per sq. in.

TYPE "S"

Ces machines à compression mono-étage, d'une grande simplicité, d'un bon rendement, et d'une marche sûre, se construisent pour toutes capacités jusqu'à 10 m³ par minute, et pour toutes pressions jusqu'à 7 Kg/cm².

TYP "S"

einfach, leistungsfähig—Einphasenmaschinen für Leistungen von 10m³ per Minute und Drucke bis 7 kg/cm².

TIPO "S"

Máquinas de una sola fase, sencillas, de alto rendimiento y seguras para capacidades hasta de 10 metros cúbicos por minuto, y presiones de hasta 7 kg por cm².

May also be arranged for direct coupling.

Elles peuvent en outre être agencées en vue de leur accouplement direct au moteur.

Auch einstellbar für direkte Kupplung.

Pueden ir dispuestos asimismo para su acoplamiento directo.

HOLMAN BROS., Ltd.

CAMBORNE :: ENGLAND

London Office: Broad Street House, E.C.2.

Representatives all over the World.

A NEW BOOK ON CEMENT CHEMISTRY

"CEMENT CHEMISTRY IN THEORY AND PRACTICE"

By Prof. Dr. HANS KÜHL

(Director of the Institute for Cement Research, Berlin).

List of Chapters

- | | |
|---|---|
| I.—The Development of Cement Research. | IV.—The Problem of Hardening and its Significance in Cement Research. |
| II.—The Theory of Cement Burning. | V.—The Chemistry of High-Strength Cements. |
| III.—The Constitution of Portland Cement Clinker. | VI.—The Technical Aspect of High-Strength Cements. |

Price by Post 7s. 9d. from

CONCRETE PUBLICATIONS LIMITED,
20 DARTMOUTH STREET, LONDON, S.W.1.

POWER

Efficient, easily controlled, absolutely reliable electric power — an essential of cement manufacture — is provided by motors made by Crompton Parkinson Ltd., the "Electrical Engineers to the Cement Industry." Let us discuss cement mill drives with you.

(Below: Grinding Mill Drive by C.P. Autosynchronous Motors.)

PUISSANCE

Puissance électrique efficace, d'un contrôle facile et sur laquelle on peut compter une nécessité essentielle pour les fabricants de ciment — est fournie par moteurs fabriqués par Crompton Parkinson Ltd., les "Ingénieurs Électriques de l'Industrie du Ciment." Permettez-nous de discuter avec vous toutes transmissions pour fabriques de ciment.

(Ci-dessous: Transmission par moteurs auto-synchrones C.P. dans une fabrique pour la pulvérisation.)

POTENCIA

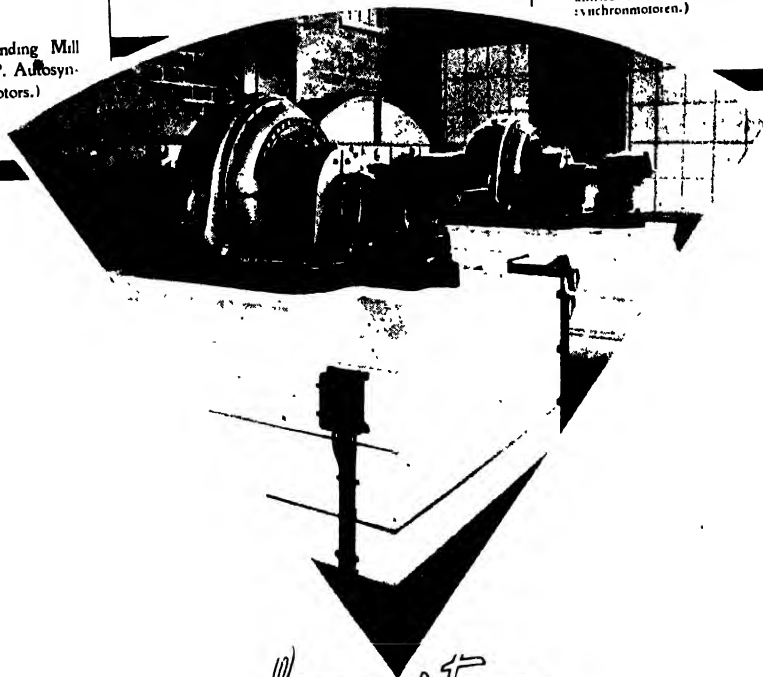
Potencia eléctrica eficaz, de fácil control, y absolutamente confiable — una necesidad esencial para los fabricantes de cemento — es provista por motores fabricados por Crompton Parkinson Ltd., "los ingenieros electricistas de la industria de cemento." Permitámonos discutir con Vd. transmisiones para fabricas de cemento.

(Abajo: Transmisión por motores auto sincronicos C.P. en una fabrica de pulverizar.)

KRAFT

Einen leistungsfähigen, leicht zu steuernden, völlig zuverlässigen elektrischen Kraftantrieb — ein unumgängliches Bedürfnis in der Zementfabrikation — sichern Sie sich durch Motoren der Firma Crompton Parkinson Ltd. Wir sind die "Elektrotechniker der Zementindustrie" und wir raten Ihnen gerne in allen Fragen des Zementmühlentriefs.

(Unten: Zementmühlentrrieb durch C.P. Autosynchronmotoren.)



Crompton
PARKINSON LIMITED
GUISELEY & CHELMSFORD

MIAG

BRAUNSCHWEIG



Embarquement d'un broyeur
compound pour le Caire.

El embärke de uno molino
combinado para transportar
á Cairo.



Verladung einer Mehr-
kammer - Verbundmühle
nach Kairo.

Shipment of Compound
Mill to Cairo.



MIAG BRAUNSCHWEIG MANUFACTURERS OF CEMENT MACHINERY

Representatives for Great Britain:

THE SECK MACHINERY CO. LTD.
116, VICTORIA STREET, LONDON, S.W.1

Miag-Cement-Machinery in use in all countries of Europe and overseas in Brazil, Brit. India, Chile, China, Congo, Dutch India, Egypt, Japan, Palestine, South Africa, Syria, Tunis, Uruguay, U.S.A.

Machinerie MIAG pour cimenteries, en service dans tous les pays d'Europe, et outremer au Brésil, Inde, Chili, Chine, Indes Néerlandaises, Congo, Egypte, Japon, Palestine, Afrique du Sud, Syrie, Tunisie, Uruguay, et Etats-Unis.

Maquinaria para cemento "Miag" empleada en todos los países de Europa y Ultramar: Brasil, India, Chile, China, Indias Holandesas, Congo, Egipto, Japón, Palestina, Africa del Sur, Siria, Túnez, Uruguay, y Estados Unidos de la América del Norte.

Miag-Maschinen in allen Ländern Europas und in Uebersee in: Aegypten, Brasilien, Brit. Indien, Chile, China, Congo, Holl. Indien, Japan, Palestina, Sud Afrika, Syrien, Tunis, Uruguay, und Ver. Staaten von Amerika.

Représentants :

J. Michaelis, Paris, 10 Rue de Sèze.

"Miag" Soc. An. Belge
Bruxelles, Place de
Brouckère 5.

Representantes :

German Mende, Madrid
Avenida Piy Margall 9,
Piso B, Puerta 5.

Amme, Giesecke &
Konegen Ltda. Buenos
Aires, 25 De Mayo
No. 252-8° Piso.

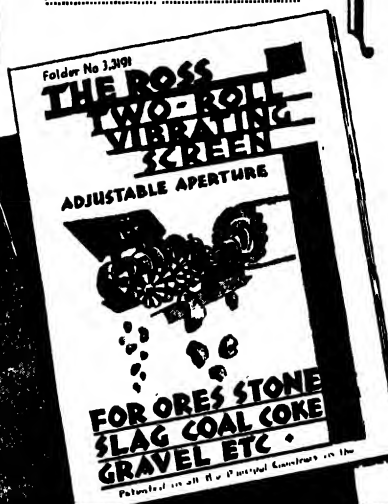
THE NEW ROSS SCREEN ASSUMES LEADERSHIP BECAUSE

It possesses features which designers of screens and grizzlies have for years sought in vain These features are:—

1. It is immune from Blocking.
2. It will handle Twisted Scrap Metal for 24 hours a day and screen it efficiently.
3. Its Apertures can be adjusted with laboratory precision over a widerange.

THE ROSS TWO-ROLL VIBRATING SCREEN comprises simply one free and one driven roll; it stands up to the most violent jobs; it sets a new high standard for rapid and accurate screening; it requires minimum Power and Maintenance; ITS FIRST COST IS MODERATE.

This descriptive literature
sent immediately on request →



ROSS PATENTS LTD
2, VICTORIA ST LONDON, S.W.1
AND ROSS SCREEN & FEEDER CO.,
247, PARK AVENUE — NEW YORK CITY.

'CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE'

VOL IV. No 9.

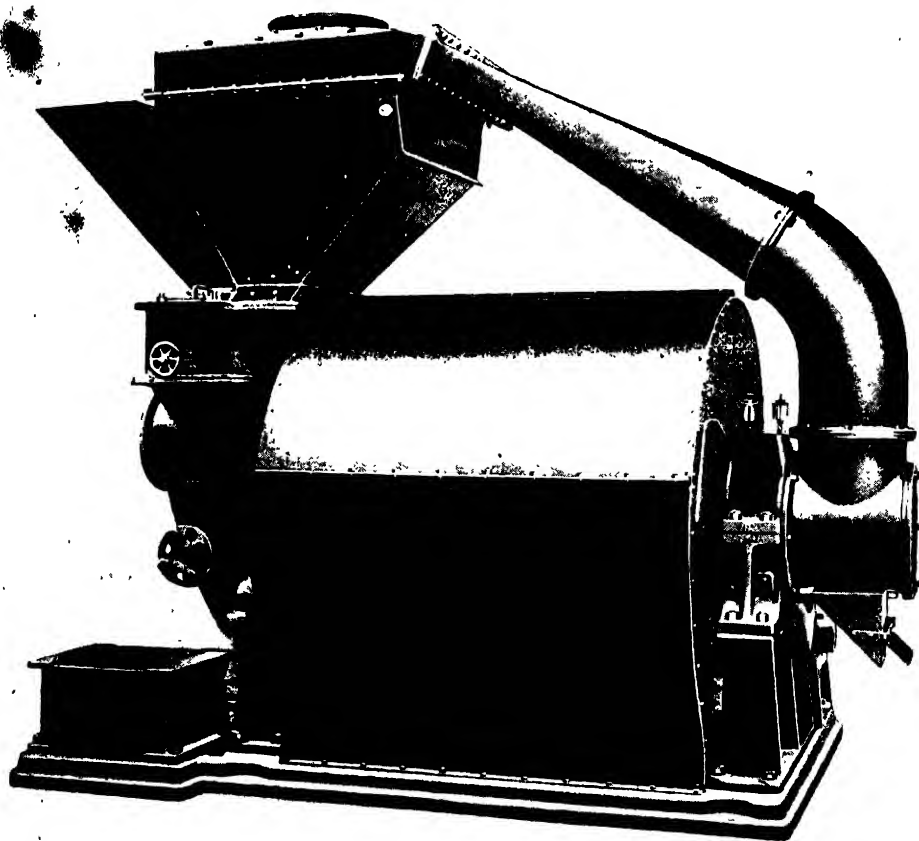
SEPTEMBER, 1931.

*Published by Concrete Publications Ltd, 20, Dartmouth Street, London, S.W.1, England.***LEADING CONTENTS**

	Printed in English. Page.	Publie en Français. Page.	In Deutsch. Gedruckt. Seite.	Editada en Español. Pág.
German Standard Specifications for Cements - -	989	—	—	—
Les normes allemandes, applicables aux fournitures de ciment - - - - -	—	1029	—	—
Normas alemanas para los cementos - - -	—	—	—	1079
The Importance of Chemical Analysis in Determining the Rational Composition of Portland Cement. By O. F. Honus - - - - -	992	—	—	—
La détermination de la composition rationnelle d'un ciment Portland, en partant de l'analyse chimique. Par O. F. Honus - - - - -	—	1032	—	—
Die Bedeutung der chemischen Analyse zur Ermittlung der rationellen Zusammensetzung des Portlandzementes. Von O. Fr. Honus -	—	—	1058	—
Importancia del análisis químico para la deter- minación de la composición racional del cemento Portland. Por O. F. Honus - - - - -	—	—	—	1062
Effect of Temperature on the Setting Time of Portland Cement. By F. Whitworth - - - - -	1001	—	—	—
L'influence de la température sur le temps de prise du ciment Portland. Par F. Whitworth - -	—	1037	—	—
Die Einwirkung der Temperatur auf die Abbin- dezeit des Portlandzementes. Von F. Whitworth	—	—	1063	—
Efecto de la temperatura sobre el tiempo de fra- guado del cemento Portland. Por F. Whitworth	—	—	—	1087
The Cement Works of the Wicking Company - -	1003	—	—	—
Les cimenteries de la Compagnie Wicking - -	—	1039	—	—
Die Werke des Wicking Konzerns - - - -	—	—	1065	—
Las fábricas del grupo Wicking - - - -	—	—	—	1089
A Comparative Study of the Portland Cement In- dustry in the United States of America, Canada, and the United Kingdom.—VII. By Hal Gutteridge, A.M.I.Mech.E., M.I.E.I. - - - - -	1011	—	—	—
Étude comparative de l'industrie du ciment Por- tland aux États-Unis, au Canada, et en Angle- terre.—VII. Par Hal Gutteridge - - - -	—	1044	—	—
Eine vergleichende Untersuchung der Portland- zementindustrie in den Vereinigten Staaten von Amerika, Kanada, und Gross-Britannien.—VII. Von Hal Gutteridge - - - - -	—	—	1070	—
Estudio comparativo de la industria del cemento en los Estados Unidos de America, Canadá, y el Reino Unido.—VII. Por Hal Gutteridge -	—	—	—	1096

'BABCOCK'

PULVERISED FUEL EQUIPMENT
THE FULLER-BONNOT PULVERISER MILL
FOR DIRECT & SEMI-DIRECT FIRING
OF CEMENT KILNS



ROBUST — RELIABLE — ECONOMICAL

A slow-speed Pulveriser of absolute dependability. Gives constant fineness of grinding. For outputs from 1,500 to 10,000 lbs. coal per hour.

BABCOCK & WILCOX,
LIMITED
Babcock House, Farringdon St., London, E.C.4
Telephone: CITY 6470.

C E M E N T
 AND
CEMENT MANUFACTURE
THE INTERNATIONAL FOUR - LANGUAGE CEMENT JOURNAL
 MANAGING EDITOR: H. L. CHILDE. CONSULTING TECHNICAL EDITOR: S. G. S. PANISSET.
ENGLISH SECTION

PARTIE FRANCAISE	PAGE 1029
DEUTSCHER TEIL	SEITE 1053
SECCIÓN ESPAÑOLA	PAG 1079

German Standard Specifications for Cements.

A REVISED scheme of chemical analysis for use in conjunction with the new German Standard Specifications for standard cements has recently been published. The committee responsible for this work consisted of Professors Burchartz, Grün, and Guttman, and Drs. Haegermann and Luftschitz. The following is an account of the scheme as it applies to Portland cements:

I. Introduction.—The following determinations must be made (1) Loss on ignition; (2) Insoluble residue; (3) Soluble silica; (4) $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mn}_2\text{O}_3$, designated for brevity R_2O_3 ; (5) CaO ; (6) MgO ; (7) SO_3 . The analysis may be completed by the determination of (8) Al_2O_3 ; (9) Fe_2O_3 ; (10) Manganese; (11) Sulphide sulphur; (12) Alkalis.

II. Sampling and Preliminary Treatment.—The bulk sample is thoroughly mixed and an average sample of 100 to 200 g. taken, from which the iron is removed by a powerful magnet and its weight recorded. The sample is then passed through a 76 (per inch) standard sieve.

III. Concentration of Solutions.

HCl conc. sp. gr. 1.19, approx. 38 per cent.

HCl , sp. gr. 1.10. 1 : 1, approx. 20 per cent.

HCl dilute, 1 : 10.

Acetic acid dilute. 1 part glacial acetic acid to 3 parts water.

NH_4OH conc. sp. gr. 0.925, approximately 18 per cent.

NH_4OH sp. gr. 0.96. 1 : 1, approximately 10 per cent.

Ammonia water containing approximately 2.5 per cent. NH_3 .

Ammonia-ammonium nitrate solution, 10 g. amm. nitrate + 2 cc. conc. ammonia per litre.

Bromine water. Cold saturated solution containing approximately 13 cc. bromine per litre.

Na_2CO_3 solution. 50 g. Na_2CO_3 per litre.

Dilute amm. oxalate. 10 g. $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ per litre.

Amm. phosphate solution. 100 g. $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ per litre.

BaCl_2 solution. 100 g. $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ per litre.

AgNO_3 solution. 1.70 g. AgNO_3 per litre (approximately N/100).

Hydrogen peroxide, commercial 3 per cent. solution.

Permanganate for calcium oxalate titration. 5.637 g. pure KMnO_4 per litre.

1 cc. = approx. 10 mg. CaO . Standardise as below. This solution is standardised against Sorensen sodium oxalate.

Permanganate adjusting solution. 0.2229 g. pure KMnO_4 made up to 1 litre with freshly boiled water. 1 cc. = 0.00010 g. MnO .

Titanium trichloride solution for iron determination.

(a) Stock solution. Commercial approximately 15 per cent. solution. Whenever the containing flask is opened the air must be replaced by CO_2 on re-sealing.

(b) Titration solution. The stock TiCl_3 solution is diluted with the same amount of concentrated HCl (sp. gr. 1.19), and made up to 40 times the volume of the original TiCl_3 solution with freshly boiled water. 1 cc. = 2 mg. Fe_2O_3 . The containing flask is kept full of CO_2 .

The TiCl_3 solution is checked against a known ferric salt solution before every series of iron determinations. One gramme pure Fe_2O_3 is dissolved in HCl and made up to a litre. Ten cc. (= 10 mg. Fe_2O_3) are taken and acidified with HCl or H_2SO_4 , a few drops of amm. thiocyanate solution (100 g. per litre) are added, and the solution is titrated against the TiCl_3 .

Loss on Ignition.—Two grammes of cement in a covered platinum crucible are heated for two to three minutes in a small flame, and then for ten minutes in a furnace at 1,000 deg. C.

Silica + Insoluble Residue.—One gramme cement is mixed with 10 cc. water in a 300 cc. basin. Twenty-five cc. HCl (1 : 1) are stirred in, and after decomposition has occurred the basin is taken to dryness on a water bath. On cooling add 25 cc. HCl (1 : 1) and allow to stand 15 minutes. Dilute to 75 cc., heat for half an hour on a steam-heated plate, and filter. Wash first with water containing 50 cc. concentrated HCl per litre, and then with distilled water.

Take filtrate to dryness and heat for one to two hours to 120-130 deg. C. Take up with HCl and treat as before. Finally burn the two filters in platinum.

Iron + Alumina + Manganese.—The filtrate from the silica determination is evaporated down to 150 cc. and heated to boiling. Add 10 cc. bromine water and then 1 g. solid amm. nitrate. Precipitate with dilute ammonia a drop at a time until there is slight excess, maintaining just at the boil throughout. Filter hot and wash six times with boiling ammonia-amm. nitrate water. Dissolve the precipitate in dilute HCl (1 : 5), make up to 150 cc. with water, and reprecipitate. Burn in platinum.

Lime.—The filtrate from the R_2O_3 is taken down to 300 cc. Add a few drops of acetic acid and heat to 90 deg. C. Add 3 g. solid amm. oxalate and excess ammonia, and boil for five minutes, stirring meanwhile. Allow the precipitate to settle in a warm place, and filter. Wash with hot amm. oxalate water until a few drops of the filtrate evaporated and ignited in platinum leave no residue.

Burn the filter to constant weight in platinum. The calcium oxalate may alternatively be estimated by titration with permanganate.

Magnesia.—The filtrate from the lime determination is taken down to 300 cc. Cool, and add 10 cc. amm. phosphate solution and one-third the volume of concentrated ammonia. Stir well, leave at least 18 hours, and filter, washing with cold ammonia (1:3). Burn carefully in porcelain. The magnesia is weighed as $Mg_2P_2O_7$, the factor 0.3621 being used to give MgO .

Insoluble Residue.—Mix 2 g cement with 100 cc. water in a 400 cc. beaker. Add 50 cc. HCl (1:1) stirring in the cold. Rapidly heat, filter hot, and wash with hot water (filtrate A). Disintegrate the filter with 50 cc. 5 per cent. Na_2CO_3 solution, breaking up with a glass rod. Boil and filter hot. Wash out the alkali with (1) hot water, (2) hot very dilute HCl , (3) hot water. Dry, and ignite in porcelain.

The filtrate A is used for the determination of SO_3 and Fe_2O_3 . It is taken to dryness and the SiO_2 removed as in the estimation of SiO_2 . The filtrate from the SiO_2 is made up, cold, to 250 cc. in a standard flask. A hundred cc. are taken for the SO_3 and Fe_2O_3 determinations respectively.

Sulphuric Anhydride.—A hundred cc. of the above solution is boiled in a beaker, and 10 cc. boiling $BaCl_2$ solution added. The beaker is covered and left in a warm place for 2 to 3 hours. After standing for 18 hours the supernatant liquid is decanted through a filter and the precipitate heated several times with small amounts of water containing a few drops of HCl , decanting after a short period of settling. The precipitate is finally washed on to the filter and rinsed with hot very dilute HCl . The filter is ignited, and the $BaSO_4$ weighed. The factor 0.343 converts to SO_3 .

Ferric Oxide.—The 100 cc. of filtrate A required for this determination is placed in a 250 cc. conical flask; 5 cc. H_2O_2 solution is added, and the excess boiled off. On cooling 10 cc. concentrated HCl and a few drops amm. thiocyanate are added, and the liquid titrated with standard $TiCl_3$ solution.

Alumina is usually estimated by difference. Details of the gravimetric method of determination as $AlPO_4$ are given for use if required.

Full details are also given of the methods suggested for determining manganese, sulphide sulphur and alkalis.

Danish Cement Market.

THE following are production figures for Danish cement during the last three years: 1928, 779,000 tons; 1929, 799,500 tons; 1930, 779,000 tons. The Dansk Cement Centrale has reduced the price of cement from July, 1931, by one krone (1s. 1d.) per ton.

Imports of cement into Denmark during the period January-June, 1931, amounted to 8,174 tons, of which 7,650 tons were Belgian.

French Cement Company's Capital.

The S.A. des Ciments de Mantes, France, has raised its share capital to fr. 30,000,000 (£241,935).

Indo-Chinese Cement Company.

The Soc. des Ciments Portland Artificiels de l'Indo-Chine has issued 20,000 4½ per cent. 1,000 fr. bonds redeemable in thirty years from July 15, 1934.

The Importance of Chemical Analysis in Determining the Rational Composition of Portland Cement.

By O. F. HONUS.

RATIONAL analysis throws light on the proportions of the individual hydraulic components in Portland cement, a knowledge of which enables conclusions to be drawn regarding its qualities and properties. The importance of chemical analysis in determining the rational composition of Portland cement will be illustrated by the following examples.

Example 1.—A Portland cement has the following chemical composition: 65.20 per cent. CaO, 2.20 per cent. MgO, 21.40 per cent. SiO₂, 6.20 per cent. Al₂O₃, and 3.40 per cent. Fe₂O₃. It will be assumed that the entire silica content is combined, and that there is no free lime. On this assumption, we have, calculating in gramme-molecules (Mol.):

$$\begin{array}{rcl}
 \text{CaO} & = \frac{65.20}{56.07} & = 1.1529 \text{ Mol.} \\
 \text{MgO} & = \frac{2.20}{40.32} & = 0.05458 \text{ Mol.} \\
 \text{SiO}_2 & = \frac{21.40}{60.06} & = 0.3563 \text{ Mol.} \\
 \text{Al}_2\text{O}_3 & = \frac{6.20}{101.94} & = 0.06082 \text{ Mol.} \\
 \text{Fe}_2\text{O}_3 & = \frac{3.40}{159.68} & = 0.021292 \text{ Mol.}
 \end{array}$$

The next step in the calculations is to draw up a table such as Table I, the first line of which gives the names of the separate constituents and the second line the quantities of these expressed in Mols.

TABLE I.

Mol. CaO	Mol. MgO	Mol. SiO ₂	Mol. Al ₂ O ₃	Mol. Fe ₂ O ₃	Mols. of Compounds. Mol. des composés. Mol. Verbindungen. Moles de compuestos.
1.1529	0.05458	0.356300	0.06082	0.021292	—
0.042584	—	—	—	0.021292	0.021292 Mol. 2 CaO . Fe ₂ O ₃
0.182460	—	—	0.06082	—	0.06082 Mol. 3 CaO . Al ₂ O ₃
—	0.05458	0.027290	—	—	0.02729 Mol. 2 MgO . SiO ₂
0.927856	—	0.329010	—	—	Differences Differenz Diferencias
0.118348	—	0.059174	—	—	0.059174 Mol. 2 CaO . SiO ₂
0.809508	—	0.269836	—	—	0.269836 Mol. 3 CaO . SiO ₂

The calculations are carried out as follows: Under the conditions of burning Portland cement the iron oxide occurs as dicalcium ferrite ($2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$). The formula indicates that 1 Mol. dicalcium ferrite consists of 1 Mol. Fe_2O_3 and 2 Mols. CaO . Therefore 0.021292 Mol. Fe_2O_3 corresponds to 0.021292 Mol. $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ and to $0.021292 \times 2 = 0.042584$ Mol. CaO . These figures are inserted in the table.

Alumina is present in Portland cement as tricalcium aluminate, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. One Mol. tricalcium aluminate consists of 1 Mol. Al_2O_3 and 3 Mols. of CaO . 0.06082 Mol. Al_2O_3 corresponds to 0.06082 Mol. $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ and to $0.06082 \times 3 = 0.18246$ Mol. CaO . These values are also inserted in the table.

In Portland cements of high alumina content (more than 10 per cent. Al_2O_3) alumina occurs together with ferric oxide as tetracalcium ferri-aluminate ($4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$). This compound must be taken into consideration in such cements.

The magnesium oxide in Portland cements may be considered to be present as dimagnesium silicate, $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$. 1 Mol. $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ consists of 2 Mols. MgO and 1 Mol. SiO_2 . Thus 0.05458 Mol. MgO corresponds to 0.02729 Mol. $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ and 0.02729 Mol. SiO_2 . These values are recorded as in the case of Fe_2O_3 and Al_2O_3 .

The 0.042584 Mol. CaO of the $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, plus the 0.18246 Mol. CaO of the $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ are now subtracted from the total CaO , and similarly the 0.02729 Mol. SiO_2 of the $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ from the total SiO_2 , and we obtain:

0.927856 Mol. CaO and 0.329010 Mol. SiO_2 present as dicalcium and tricalcium silicates.

The calculation of these two components is as follows: First consider the available silica (0.329010 Mol.) and assume that it is equally distributed between dicalcium and tricalcium silicate. We have then:

$$\begin{aligned} &0.164505 \text{ Mol. } \text{SiO}_2 \text{ for } 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \\ &\text{and } 0.164505 \text{ Mol. } \text{SiO}_2 \text{ for } 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2. \end{aligned}$$

Whence we have:

$$\begin{aligned} &0.329010 \text{ Mol. } \text{CaO} \text{ for } 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \\ &\text{and } 0.493515 \text{ Mol. } \text{CaO} \text{ for } 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2. \end{aligned}$$

This accounts for 0.822525 Mol. CaO of the 0.927856 Mol. CaO still available (difference). Since, as already mentioned, there is no free lime present, it follows that the residual lime (0.105331 Mol.) must be present as tricalcium silicate. It must be transferred from dicalcium to tricalcium silicate, which gives:

$$\begin{aligned} &0.164505 - 0.105331 = 0.059174 \text{ Mol. } \text{SiO}_2 \text{ as } 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \\ &\quad \quad \quad - 0.118348 \text{ Mol. } \text{CaO} \text{ as } 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \\ &\text{and } 0.164505 + 0.105331 = 0.269836 \text{ Mol. } \text{SiO}_2 \text{ as } 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \\ &\quad \quad \quad = 0.809508 \text{ Mol. } \text{CaO} \text{ as } 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2. \end{aligned}$$

Thus we have 0.059174 Mol. dicalcium and 0.269836 Mol. tricalcium silicate. If these values are inserted in the table it will be found that all the CaO and SiO_2 is exactly accounted for.

The percentages of the various compounds are as follows:

$2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	...	...	0.021292 Mol. $\times 271.82 = 5.80\%$
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	...	...	0.06082 Mol. $\times 270.15 = 16.40\%$
$2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	.	...	0.02729 Mol. $\times 140.70 = 3.83\%$
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	...	...	0.059174 Mol. $\times 172.20 = 10.20\%$
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$			0.269836 Mol. $\times 228.27 = 61.67\%$

If the analyses on which these calculations are based were perfect the results would be quite accurate. We have not, however, allowed for the SO_3 , alkalis, and loss on ignition (due to CO_2 , H_2O and possibly traces of unburnt fuel). Nor have we determined the soluble (combined) silica, insoluble (uncombined) silica, and free lime. Thus the above results can only be regarded as approximate.

Example 2.—Example 2 takes into consideration the elementary analysis of the same cement, whose percentage composition is as follows:

CaO	65.20	(64.05 combined CaO 1.15 free CaO
MgO	2.20	
SiO ₂	21.40	(21.04 combined SiO ₂ 0.36 free SiO ₂
Al ₂ O ₃	6.20	
Fe ₂ O ₃	3.40	
SO ₃	0.40	
K ₂ O	0.40	
Na ₂ O	0.40	
CO ₂	0.40	

The results of the calculations are given in Table II. In this table the total molecular quantities of CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃ are the same as in Table I. New additions are:

$$\text{SO}_3 = \frac{0.40}{80.07} = 0.004995 \text{ Mol. SO}_3$$

$$\text{K}_2\text{O} = \frac{0.40}{94.20} = 0.004246 \text{ Mol. K}_2\text{O}$$

$$\text{Na}_2\text{O} = \frac{0.40}{62.00} = 0.006460 \text{ Mol. Na}_2\text{O}$$

$$\text{CO}_2 = \frac{0.40}{44.00} = 0.009090 \text{ Mol. CO}_2$$

The SO_3 of Portland cement occurs combined with lime as CaSO_4 (1 Mol. CaSO_4 = 1 Mol. CaO + 1 Mol. SO_3).

0.004995 Mol. SO_3 corresponds to

0.004995 Mol. CaSO_4 and 0.004995 Mol. CaO.

Assuming the alkalis occur as a glass, they may be considered as forming the compounds $3\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO}$ and $3\text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{CaO}$.

The 0.00646 Mol. Na_2O correspond to 0.00646 Mol. $3\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO}$, 0.00646 Mol. CaO and 0.01938 Mol. SiO_2 . Similarly the 0.004246 Mol. K_2O correspond to 0.004246 Mol. $3\text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{CaO}$, 0.004246 Mol. CaO and 0.012738 Mol. SiO_2 .

After subtracting the CaO and SiO_2 already accounted for from the total quantities, allowing for free lime and silica, there remain 0.872465 Mol. CaO and 0.290892 Mol. SiO_2 , which occur as dicalcium and tricalcium silicates. It is seen that the ratio CaO : SiO_2 is nearly 3 : 1, so that we are dealing almost entirely with tricalcium silicate.

Proceeding further with the calculation as in Example 1, we have:

$$0.290892/2 = 0.145446 \text{ Mol. SiO}_2 \text{ as}$$

$$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = 0.290892 \text{ Mol. CaO}$$

$$\text{and } 0.145446 \text{ Mol. SiO}_2 \text{ as}$$

$$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = 0.436338 \text{ Mol. CaO.}$$

TABLE II.

Mol. CaO	Mol. MgO	Mol. SiO ₂	Mol. Al ₂ O ₃	Mol. Fe ₂ O ₃	Mol. SO ₃	Mol. K ₂ O	Mol. Na ₂ O	Mol. CO ₂	
1.152900	0.05458	0.356300	0.06082	0.021292	0.004995	0.004246	0.00646	0.00909	
0.009090	—	—	—	—	—	—	—	—	0.00909 CaCO ₃
0.006460	—	0.019380	—	—	—	—	0.00646	—	0.00646 3SiO ₂ , Na ₂ O, CaO
0.004246	—	0.012738	—	—	0.004995	0.004246	—	—	0.004246 3SiO ₂ , K ₂ O, CaO
0.004995	—	—	—	—	—	—	—	—	0.004995 CaSO ₄
0.042584	—	—	—	0.021292	—	—	—	—	0.021292 2CaO, Fe ₂ O ₃
0.182460	—	—	0.06082	—	—	—	—	—	0.06082 3CaO, Al ₂ O ₃ (free CaO)
0.020600	—	—	—	—	—	—	—	—	0.020600 CaO libre freies CaO
—	0.05458	0.027290	—	—	—	—	—	—	0.027290 2MgO, SiO ₂ , CaO libre
—	—	0.006000	—	—	—	—	—	—	(free SiO ₂ , SiO ₂ libre freies SiO ₂ , SiO ₂ libre)
0.872465	—	0.290892	—	—	—	—	—	—	{ Differences Differenz Diferencias
0.000422	—	0.000211	—	—	—	—	—	—	0.000211 2CaO, SiO ₂
0.872043	—	0.290681	—	—	—	—	—	—	0.290681 3CaO, SiO ₂

SAVED BY THE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
 P. O. BOX 1000, WASHINGTON, D. C.
 RECEIVED JAN 12 1932
 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
 P. O. BOX 1000, WASHINGTON, D. C.

Adding the CaO, we have 0.727230 Mol. CaO. The total available CaO (difference) = 0.872465 Mol., so that we must adjust to account for

$$0.872465 - 0.727230 = 0.145235 \text{ Mol. CaO.}$$

This gives:

$$0.145146 - 0.145235 = 0.000211 \text{ Mol. SiO}_2 \text{ as } 2\text{CaO.SiO}_2$$

$$\text{and } 0.145146 + 0.145235 = 0.290681 \text{ Mol. SiO}_2 \text{ as } 3\text{CaO.SiO}_2$$

$$0.000211 \text{ Mol. SiO}_2 \times 2 = 0.000422 \text{ Mol. CaO as } 2\text{CaO.SiO}_2$$

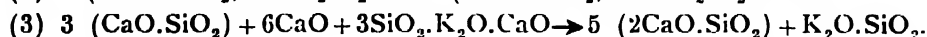
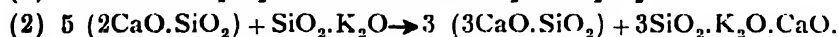
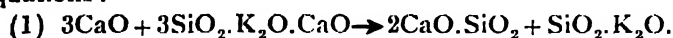
$$0.290681 \text{ Mol. SiO}_2 \times 3 = 0.872043 \text{ Mol. CaO as } 3\text{CaO.SiO}_2.$$

Thus we have 0.000211 Mol. 2CaO.SiO_2 and 0.290681 Mol. 3CaO.SiO_2 , which exactly accounts for all the CaO and SiO_2 .

The percentages of the various compounds are as follows:

CaCO_3	$0.00909 \times 100 = 0.91\%$
$3\text{SiO}_2.\text{Na}_2\text{O.CaO}$	$0.00646 \times 298.25 = 1.93\%$
$3\text{SiO}_2.\text{K}_2\text{O.CaO}$	$0.004246 \times 330.45 = 1.40\%$
CaSO_4	$0.004995 \times 136.14 = 0.69\%$
$2\text{CaO.Fe}_2\text{O}_3$	$0.021292 \times 271.82 = 5.79\%$
$3\text{CaO.Al}_2\text{O}_3$	$0.06082 \times 270.15 = 16.52\%$
Free CaO	$0.0206 \times 56.07 = 1.15\%$
2MgO.SiO_2	$0.02729 \times 140.70 = 3.84\%$
Free SiO_2	$0.00600 \times 60.06 = 0.36\%$
2CaO.SiO_2	$0.000211 \times 172.20 = 0.36\%$
3CaO.SiO_2	$0.290681 \times 228.27 = 66.40\%$

It will be seen from example 2 that the introduction of the alkalis has resulted in increasing the 3CaO.SiO_2 content by some 4 per cent. and reducing the 2CaO.SiO_2 by some 10 per cent. The alkalis assist the formation of 3CaO.SiO_2 in that they take up a large amount of silica for the formation of glass. It may also be accepted that the glass exerts a catalytic action, first assisting dicalcium silicate formation, and, when this reaction has attained equilibrium, encouraging a reaction in the opposite direction which gives tricalcium silicate; it thus acts as a double catalyst. This can be expressed by the following equations:



In continuation of the above, the value of rational analysis in judging technical Portland cements was investigated more particularly with the object of ascertaining to what extent the crushing strength can be forecast. For this purpose eleven cements were investigated in the Silicate Research Institute at Brunn by O. Kallauner* and his co-workers J. Šimánek, S. Seidl, and I. Alejnikow, who did the chemical work, and S. Skoumal, who carried out the mechanical tests. It is to be noted that alkalis and free lime were not determined, and cannot be taken into consideration in calculating the rational composition.

Table III gives the chemical analyses of the eleven cements, their hydraulic and silicate moduli, residue on the 180 (per inch) sieve, and crushing strength (1:3 mortar) after 2, 7 and 28 days water storage and 28 days combined storage.

* O. Kallauner. "Chemical Composition and Standard Properties of Czecho-Slovakian Cements." Stavivo, No. 6, p. 147, and No. 7, p. 185, 1929.

TABLE III.

Cement number—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Per cent.											
CO ₂	4.76	6.92	4.41	1.40	3.94	2.51	1.39	0.75	1.16	0.95
Free SiO ₂	1.19	1.23	0.52	0.25	0.38	0.38	0.29	0.25	0.36	0.36
Combined SiO ₂	21.22	19.71	19.24	25.92	21.18	20.53	24.72	22.23	20.96	20.63
Al ₂ O ₃	5.19	5.09	6.50	3.29	5.23	6.44	3.73	5.91	6.04	5.90
Fe ₂ O ₃	3.05	3.47	3.54	1.92	2.91	2.03	1.89	2.49	2.41	2.31
CaO	60.34	60.60	63.90	66.04	64.58	64.46	66.55	65.68	65.56	65.20
MgO	1.34	1.64	0.31	0.95	0.96	1.05	0.80	1.32	1.73	1.64
SO ₃	1.70	1.18	1.56	0.61	0.88	2.28	0.93	1.28	1.94	2.42
Total	98.79	99.84	99.98	100.38	99.93	99.68	100.30	99.91	100.16	99.41
Hydr. Mod.	2.00	2.10	2.18	2.10	2.20	2.20	2.18	2.14	2.23	2.26
Silic. Mod.	2.58	2.30	1.92	4.98	2.60	2.40	4.40	2.65	2.48	2.54
Residue on 180 sieve	2.80	13.00	2.80	9.61	5.00	2.27	10.00	6.00	1.40	1.60
Crushing Strength in lb. per sq. in.											
2 days water storage	—	—	4,010	2,133	—	2,673	—	2,346	4,366	4,366
7 days water storage	2,986	2,787	5,517	4,494	6,826	5,119	3,697	5,830	7,821	7,821
28 days water storage	3,982	3,697	6,598	3,295	7,735	6,598	5,091	8,532	8,902	8,902
28 days combined storage	4,693	4,266	8,020	7,309	9,101	7,608	5,731	8,944	10,210	10,210
Weight per litre (loosely packed)	1,010	990	920	1,080	1,085	1,035	1,115	1,105	1,026	1,032
Water (per cent.)	8.00	8.25	8.00	8.00	8.2	8.4	8.0	8.0	8.25	8.0

TABLE IV.

Cement Number—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Per cent.											
CaCO ₃ ..	10.82	15.73	10.20	3.18	8.95	5.70	3.16	1.70	2.63	2.16	2.38
Free SiO ₂ ..	1.19	1.23	0.52	0.25	0.25	0.38	0.29	0.25	0.36	0.36	0.45
2CaO . Fe ₂ O ₃ ..	5.16	5.90	6.01	3.26	4.90	3.45	3.23	4.23	4.07	3.93	4.21
3CaO . Al ₂ O ₃ ..	13.70	13.50	16.21	8.65	13.80	17.04	9.86	15.64	16.00	15.60	14.98
2CaO . SiO ₂ ..	43.50	35.60	28.27	41.36	27.60	23.50	33.40	21.67	12.10	9.25	9.14
3CaO . SiO ₂ ..	19.00	22.80	34.74	40.80	41.10	43.80	47.20	50.60	58.50	61.40	61.71
2MgO . SiO ₂ ..	2.34	2.87	1.21	1.67	1.68	1.82	1.40	2.31	3.20	2.87	3.41
CaSO ₄ ..	2.98	2.01	2.65	1.03	1.50	3.87	1.58	2.17	3.27	4.10	3.80
Total ..	98.69	99.64	99.81	100.20	99.78	99.56	100.12	99.57	100.13	99.67	100.08

Price 82)
Wh (178)

Table IV shows the calculated rational compositions of these eleven cements. In Fig. 1, strengths after 2, 7 and 28 days water storage and 28 days combined storage are plotted against the calculated tricalcium silicate contents of the cements. At the bottom of the figure the sieve residues are plotted.

We first observe from Fig. 1 that the strength of cement No. 2 is lower than that of No. 1 in spite of the increased tricalcium silicate content. This falling off in strength is probably due to the incomplete hydration of the coarse fraction, which is about 10 per cent. greater, and does not proportionally contribute to the hardening. Cement (3) is again higher in strength, corresponding to its

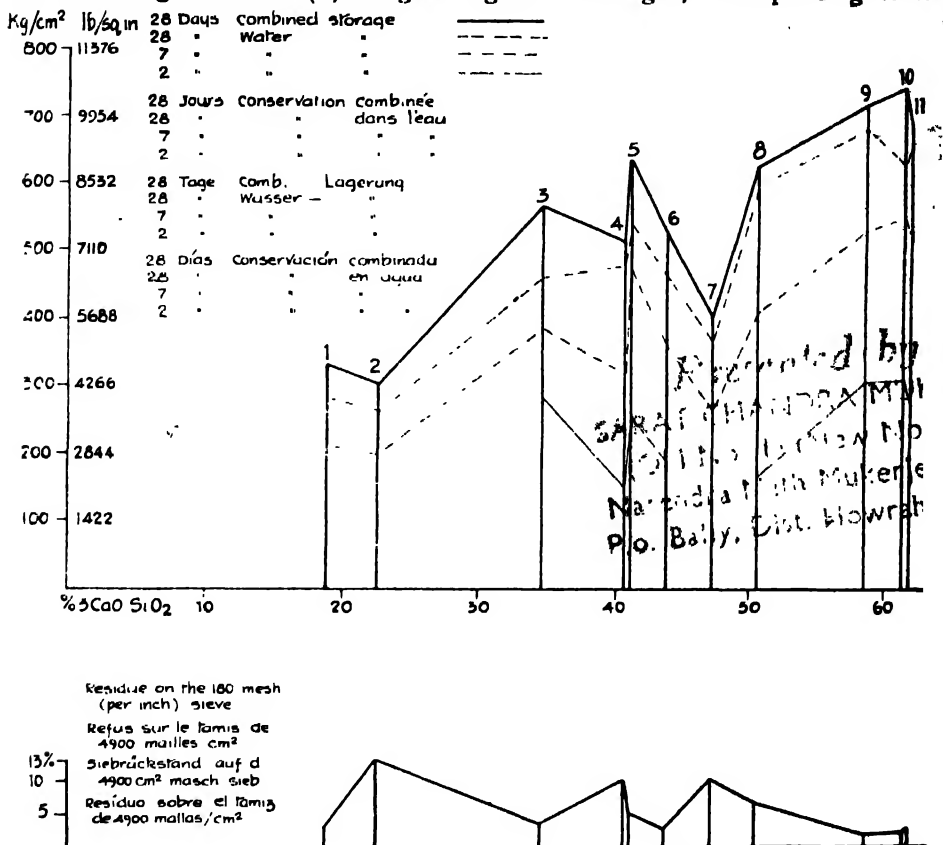


Fig. 1.

increased tricalcium silicate content. Cement (4) again shows reduced strength, in part attributable to the coarse portion amounting to about 10 per cent. and in part to the small proportion of tricalcium aluminate, and the high content of dicalcium silicate which can be regarded as a strength reducer. On passing to cement (5) the strength again increases along with the 3CaO.SiO₂ content. With cement (6) the strength again falls, in spite of the increase in 3CaO.SiO₂ content. The high gypsum content of this cement (3.87 per cent.) can hardly be considered to explain this reduction in strength, although it is not impossible that it contributes to some extent to a retardation of the rate of increase in strength. Possibly free lime was present which was not taken into consideration. Cement (7) shows a further reduction in strength, probably due partly

to the coarse fraction (10 per cent. on the 180 sieve), and partly to the increased dicalcium silicate content acting as a diluent, combined with the lower $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ content. Cement (8) shows an increase of 780 lb. per sq. in. over cement (5) on storage in water, but on mixed storage there is a diminution in strength amounting to 156 lb. per sq. in. This variation is probably due to the change in the ratio $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 : 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, and in the sieve residue which is 1 per cent. higher for cement (8). Cements (9) and (10) show an increase in strength corresponding to the increase in $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. With cement (11) there is a small decrease in strength on 28 days mixed storage, presumably due to the somewhat higher sieve residue and lower tricalcium aluminate content. On water storage, on the other hand, cement (11) has a higher strength than No. (10) by some 427 lbs. per sq. in.: here we have the same phenomenon as was seen with cements (5) and (8).

The theory that crushing strength increases with tricalcium silicate content was confirmed by six of the eleven cements after mixed storage for 28 days, and by 7 cements after 28 days water storage. In the case of three of the cements it was established that increase in sieve residue runs parallel with reduction in strength.

Summary.

(1) Rational analysis can be used for judging the qualities of Portland cements.

(2) An elementary analysis of a cement, including all the constituents, is necessary for the calculation of the rational analysis. The following constituents must be sought in the chemical analysis: Combined SiO_2 , free SiO_2 , combined CaO , free CaO , SO_3 , sulphur as sulphides, SO_2 when present, CO_2 , MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O , and Na_2O . Since K_2O and Na_2O can be considered as forming glass, they can be introduced into the rational analysis as glass compounds.

(3) In judging the quality of a cement from the rational analysis, the sieve residue is of great importance and must be taken into consideration. The ratios $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 : 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 : 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ and $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 : 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ must also be considered.

(4) It is possible that research based upon the rational composition of Portland cement will explain the manner and extent to which the tricalcium silicate is affected by dicalcium silicate and tricalcium aluminate.

Cement Company Reports.

The following profits and dividends have been declared for 1930 (those in brackets are the corresponding figures for 1929): Portland Zementfabrik Rudelsburg, A.G., Germany, Rm. 44,000, 4 per cent. (Rm. 66,000, 6 per cent.); Sächs-Thüring Portland-Zement Fabrik Prüssing A.G., Rm. 150,000, 6 per cent., payable 1933 (Rm. 110,000, 6 per cent.); Adler-Deutsche Portland-Zement Fabrik A.G., Rm. 73,096, nil (Rm. 660,000, nil); Wilson's (New Zealand) Portland Cement, Ltd., £74,182, 10 per cent. (£89,955, 10 per cent.). A.G. für Zement und Zementwarenzeugung, Czechoslovakia, 4,353 Kc., carried forward (535 Kc., 5 per cent.); Cementfabriken "Dania" A/S, Denmark, 8 per cent.; A/S "Kongsdal" Portland Cement Co., 6 per cent.; Soc. Thionvilleoise de Ciments, France, fr. 4,213,158, 24 per cent. (fr. 1,282,209, 8 per cent.); Soc. Française des Chaux Hydrauliques et Ciments du Vermandois, fr. 400,111, fr. 125 (fr. 195,391, fr. 80); S.A. des Ciments Portland de Lorraine, France, fr. 1,019,084, to depreciation.

Effect of Temperature on the Setting Time of Portland Cement. •

By F. WHITWORTH.

With the development of finely-ground cements attention has been directed to the effect of heat on the setting time. With the object of obtaining some data on this subject the following series of tests was carried out.

A cement of normal composition and containing 1.80 per cent. SO_3 was heated to temperatures ranging from 100 deg. C. to 600 deg. C. for thirty minutes, and after being allowed to cool in air, setting-time tests were carried out. The results obtained are extremely interesting. Three transition points were recorded, and will be discussed in rotation starting from the lower temperatures. The unheated cement was slow setting (initial 110 minutes, final 190 minutes). When heated to 100 deg. C. no difference of setting time was recorded.

First Transition Point—False Set.—When heated to 150 deg. C. a definite change was recorded, the initial set taking place in 10 minutes, but the final set remaining unchanged.

As the composition of gypsum changes when heated to about 110 deg. C., and as the other constituents of the cement had already been heated to much above this temperature, we may reasonably assume that it was the qualities of the gypsum which caused this change. Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) when heated to about 110 deg. C. is converted into plaster of Paris ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), the gypsum giving up $1\frac{1}{2}$ molecules of water; any anhydrite contained is in the alpha form and is readily soluble. It continues in this form until heated to about 200°C. Plaster of Paris takes up water and sets in 5 to 15 minutes.

This initial set of heated cement is what has been referred to as the "false set," which reaches a maximum intensity in 10 to 15 minutes. After this the mass appears to rest inert for a considerable time, and then hardening recommences slowly until the final set. The time of the maximum intensity of the false set coincides approximately with the "set hard" state of plaster of Paris.

I have previously suggested in CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE (April, 1930, and July, 1931), that this false set is in reality a partial recrystallisation of the dehydrated gypsum in the cement, possibly in conjunction with free lime or high-limed compounds (more probably the aluminates), the bulk of the cement meantime continuing a normal set.

Professor Kuhl states in his article, "Cement Chemistry in Theory and Practice" (CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, January, 1931), that the first needles formed from the interaction of cement and water are, in certain cases, gypsum crystals. This statement was with reference to a small quantity of cement in an excess of water, but this condition is approached at the earlier stages after adding the gauging water.

Mr. Anzlovár, in your April, 1931, number, has suggested that the anhydrite formed at tube-mill temperatures (these would seldom exceed 180 deg. C. and would usually be very much below this figure) does not enter into solution rapidly enough to retard the setting of the cement and would thus account for false sets. On the contrary, the anhydrite formed at this temperature is readily soluble so that this cannot be accepted as a true explanation of false set.

Second Transition Point—Rapid Set.—The next transition point occurred when the cement had been heated to slightly over 200 deg. C. The cement then developed a true rapid set (initial 6 minutes, final 10 minutes). This

point also coincides with a transition point of heated gypsum. When heated to about 200 deg. C. gypsum is converted into anhydrous calcium sulphate (CaSO_4). The anhydrite now formed is in the beta form and takes up water very slowly. It would appear that the anhydrite in this form enters into solution too slowly to exert any influence on the setting of the cement, and the latter therefore reverts to its natural quick-setting properties.

Third Transition Point—Return to Normal Set.—The next transition point was reached when the cement had been heated to approximately 500 deg. C. The cement here became again normal setting (initial 95 minutes, final 200 minutes). This point again coincides with a transition point in heated gypsum. Gypsum, when heated to about 500 deg. C., forms an anhydrous calcium sulphate which is readily soluble in water. It is therefore again able to exert a retarding influence on the setting of the cement, and the latter returns to normal setting properties.

The recorded phenomena would probably be modified with cements containing an appreciably larger or smaller quantity of gypsum, but would probably be little changed by differences of chemical composition. (Only Portland cements are referred to in this article.)

It appears from these experiments that anhydrite in the beta (insoluble) form has no retarding influence on the setting of cement. It is also obvious, from the speed of the rapid set, that if the retarder is to be effective it must in all probability be very rapidly soluble. The anhydrite (alpha form) and the hemihydrate both fulfil this condition, and the dihydrate to a lesser degree.

If the theory of a partial recrystallisation of the dehydrated gypsum as a cause of false set is correct, and it certainly appears the most reasonable yet presented, then the calcium sulphate must be equally effective before, during, or after crystallisation, or a sufficient quantity must still be in solution to retard the set. In the latter case the quantity would appear to be very small. The only suggestion I can at present make is that the calcium sulphate acts partially catalytically.

The experiments recorded here can be repeated in the average works laboratory. Care must be taken that the whole of the cement is brought to the minimum temperatures given and maintained at those temperatures for 30 minutes, otherwise erroneous results will be obtained, particularly near the lower transition point. Here a very interesting fact was noticed: if the cement was not heated quite long enough, or if the temperature was not quite high enough, the cement set normally, showing neither false nor rapid set. This may explain some of the discordant facts reported by works chemists from hot countries. I consider a possible explanation is that the gypsum has been partially converted into insoluble anhydrite but that a portion still remains as plaster, but while the quantity remaining as plaster is not sufficient to set up a pronounced false set it is sufficient to retard the setting of the cement.

These notes should be read in conjunction with my two previous contributions to CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE on this subject referred to earlier.

Cement Production in Korea.

According to the U.S. Vice Consul at Seoul, the local cement plants (Onoda Co.) last year produced 1,400,000 barrels of cement (exports were 35,098 barrels to foreign countries and 377,911 to Japan). Imports from Japan were 634,072 barrels during 1930.

The Cement Works of the Wicking Company.

THE Wicking Portland Cement & Hydraulic Lime Works, A.G., whose headquarters are in Münster, Westphalia, at present comprises thirteen works, while a fourteenth is under construction on the Rhine and will shortly enter into production. The company also controls the outputs of a number of other works, and owns the "Hoexter-Godelheim" works, which is now closed down, the quota being divided among the other works of the syndicate. This concentration of interests finds its external expression in the fact that of the 34 independent companies existing in Westphalia in 1915, only 24 survived in 1927.

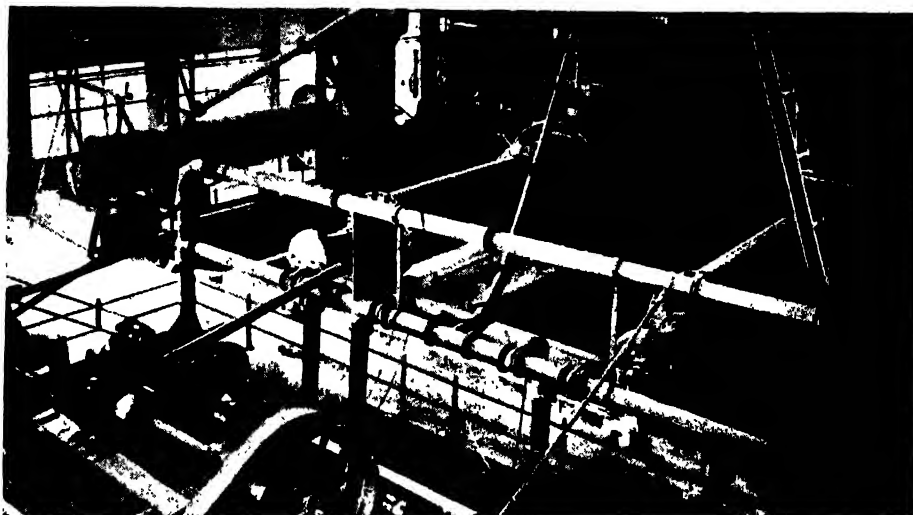


Fig. 1.

The following table gives the outputs of the Wicking Company's works:

Works	Year of establishment	Daily output (tons)					
		In first year of existence				To-day	
Westphalia ...	1884	...	...	75	...	...	450
Porta ...	1889	...	...	18-19	...	...	—
Lengerich I ...	1890	...	...	—	...	...	—
Lengerich II ...	1897	...	...	180	...	...	400
Friedrichshorst ...	1898	...	...	150	...	...	1,000
Büren ...	1899	...	...	10	...	...	675
Mark ...	1899	...	...	180-200	...	...	550
Grimberg ...	1900	...	...	10	...	...	600
Union ...	1900	...	...	120	...	...	300
Horstkoetter ...	1907	...	...	240	...	...	450
Zollern ...	1908	...	...	136	...	...	340
Lengerich III ...	1911	...	...	—	...	...	—
Klasberg ...	1914	...	...	75	...	...	300

Presented by

The Westphalia Works at Beckum.

This factory, which originated in a lime works, was united with the Porta Union in 1919, and the two together became associated with the Wicking works in 1921. The raw materials, hard limestone and marl, are quarried by steam navvies and transported by light railway. The power plant consists of a 12-atmosphere flame-tube boiler and compound condensing steam engine, in addition to which the works now has access to a district high-tension electricity supply. The wet process is used. The raw materials are first broken up in a Titan crusher and then finely ground to slurry in "Combinator" ball-tubemills. The slurry is pumped into the rotary kilns, and the resulting clinker is conveyed to iron silos with automatic discharge. The clinker is ground in "Ergo" mills—short tube mills with air separation. The cement



Fig. 2.

is stored in iron silos provided with automatic discharge and weighing machines. The cement can be loaded directly on to trucks in readiness on a siding.

The Porta Works at Porta-Westphalia.

The raw materials are obtained below the Weser hills and consist of "muschel" limestone, interspersed with natural cement strata and clay deposits. The quarries are worked by compressed air drills, and the broken material is transported to the works in locomotive-drawn wagons holding about 2 cu. yds. Power is obtained from four Lancashire boilers, each having 1,300 sq. ft. heating surface, and two compound superheated-steam engines developing a total of 2,500 (metric) h.p. The dry process is worked, and the raw material is prepared by passing through a "Titan" crusher to a coarse silo, then by drying in a rotary drier and grinding in two Polysius "Solo" mills. The

raw meal is burnt in four rotary kilns, three of which are of 6½ ft. diameter and 100 ft. long, the fourth, a Polysius "Solo" kiln, being 240 ft. long. This last is connected to a reinforced concrete stack, which has proved very satisfactory. Compound mills, as well as a combination of Krupp coarse and fine mills, are used for grinding the clinker. Air separation is used. The cement is stored in wooden bins from which it is packed into casks or sacks and despatched either by rail or by the river Weser, to which the works is connected by an aerial railway.

No. 1 Lengerich Works.

The raw materials are from the west of the Teutoberg Forest, and belong geologically to the upper chalk formation; they comprise limestone and marl. The rock is worked by means of compressed-air hammer-drills and explosives,

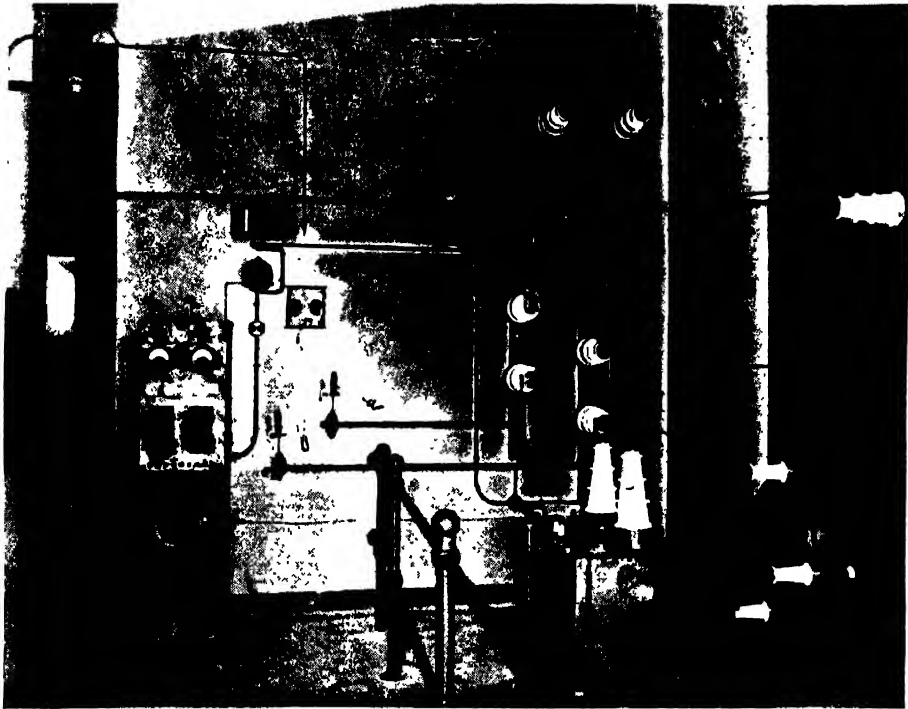


Fig. 3.

which enable the principle of terrace-formation to be followed. The material is broken and filled into wagons by hand and conveyed to the works by narrow-gauge railway. Power is received at 30,000 volts and transformed down to 500 volts. The raw materials are wet-ground in tube-mills (Fig. 1), mixed in large containers by compressed air, and then directly conveyed to the kilns (Fig. 2). The clinker is stored in large silos and is led to the cement grinding plant by screw conveyors. The grinding plant consists of "Ergo" and three-compartment mills. The cement is stored in large iron silos, with discharge tubes which can be connected to movable automatic sack and barrel packing machines, so that cement can be drawn from any silo at will. Special sack trucks convey the packed material directly to the wagons in which it is to be loaded. The works possesses its own foundry.

No. 2 Lengerich Works.

The raw materials are limestone and marl of the chalk formation, worked by hand in open quarries, and conveyed to the works by a ropeway. The power plant consists of five Lancashire boilers and two horizontal compound steam engines. The works has also access to the high-voltage electricity supply. The raw materials are crushed by a "Titan" crusher and ground in "Ergo" mills with air separation. The dry process is worked, the raw meal being stored in silos. Automatic shaft-kilns are used with Mannstaedt or Thiele grates (working respectively with rotary and reciprocating motion). The

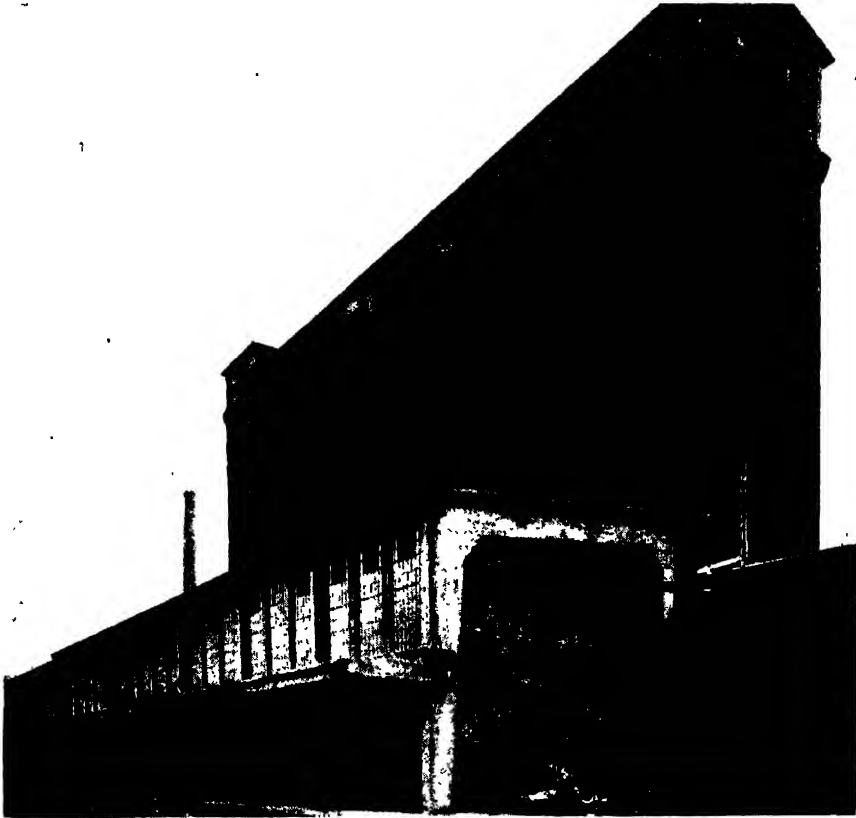


Fig. 4

clinker is stored in a large shed. It is first passed through a stone crusher and then ground in a Pfeiffer Hard mill and an "Ergo" mill, both with air separation. From the silos the cement is packed into sacks by means of packing machines, or into casks on shaking platforms.

The Friedrichshorst Works, Beckum.

The chalk formation is very close to the works. It is worked by four automatic excavators. Holes for the explosive are drilled by compressed air. The power plant, which originally consisted of two steam engines developing 300 and 600 (metric) h.p., has been increased by a 2,500 h.p. uniflow steam engine and a 1,000 h.p. compound engine. The greatest part of the steam is obtained

from a waste-heat boiler behind the kilns and from a water-tube boiler fired with powdered coal. The working pressure is 15 atmospheres. The works has mostly gone over to single electrical units, and alternating current can be either generated in the works, or, in case of breakdown, obtained from the supply.

The raw materials are prepared by "Titan" crushers, opposing-current rotary driers heated by the kiln waste gases, an electrical dust extraction plant (Fig. 3), coarse mills, "Ergo" mills with air separation, and multi-compartment mills. Nine automatic shaft kilns and two 160-ft. rotary kilns of 9 ft. diameter are installed. The clinker is stored in a building capable of holding 20,000 tons, and is handled mechanically throughout. Multi-compartment mills of the works' own construction are exclusively used for grinding.



Fig. 5.

The reinforced concrete cement silos (Fig. 4) hold 12,000 tons of cement. The cement is transported by Fuller-Kinyon pumps (Fig. 5). The modern packing machines give an hourly output of 200 sacks per workman. Fig. 6 gives a general view of the works.

The Büren Works.

Raw materials are marl and limestone of the chalk formation. Stone is transported to the works by aerial and rope railway.

The blasting holes are drilled by hammer and rotary drills. Originally there were two Lancashire boilers with main and auxiliary steam engine, but two additional boilers and a main steam engine have since been added. Electricity is also available. The dry process is used. Stone crushers, edge-runners, a "Cummer" drier, tube-mills, and "Maxecon" mills with air separation are used in this part of the process. The raw-meal is briquetted in Dorsten presses, and burnt in semi-automatic shaft kilns with rotating grates. The clinker, which is handled automatically, is piled 30 ft. high in a concrete store. Com-



Fig. 6.

pound mills are used for grinding, and automatic weighing machines for packing the cement.

The Mark Works at New Beckum.

The raw materials are marl and limestone of the upper Senon. Steam navvies have now been applied to the earlier terraced workings. The material is conveyed to the works in locomotive-drawn wagons holding 3 cu. yds. each. Power is obtained from the district high-tension electricity supply, the current being reduced to 500 volts by means of three 1,250 kVA transformers. The raw materials are dried in two rotary driers, 80 ft. long and 6½ ft. diameter, heated by the waste heat of the rotary kilns. The raw grinding plant consists of two "Titan" crushers with 8 hammers each, and two Andreas compound mills, 36 ft. long and 6½ ft. diameter. A 10-compartment silo contains the raw meal to feed the rotary kilns, while the briquetting for the shaft kilns is carried out by five double-stamp Polysius presses and one Dorsten press. The material is burnt in Dietzsch kilns and two 197-ft. rotary kilns with enlarged clinkering zones. The shaft-kiln clinker is stored in a 230 ft. by 115 ft. shed, and is conveyed to the grinding plant by bucket conveyor. The rotary clinker is stored in three closed silos holding 13,000 tons. The rotary clinker is ground in two compound mills, and the shaft-kiln clinker in three coarse mills and five ball mills. The cement is stored in a 1,200-ton reinforced concrete silo, and packed by double automatic packing machines. Barrels are packed by two movable barrel packing machines, which compress the cement into the barrels by means of a screw.

The Grimberg and Rosenstein Works at Ennigerloh.

Limestone and marl of the chalk formation are the raw materials. The large lumps of rock obtained by blasting are broken up and filled into tip-wagons, which are drawn to the works by locomotives. A Lancashire boiler and a

water-tube boiler, with three steam engines and a Diesel engine, develop the power required. The dry process is worked, the comminution being carried out by means of stone crushers, rolls, tube-mills and compound mills. The raw meal is stored in silos which supply five 100-115 ft. rotary kilns. The clinker is stored in reinforced concrete sheds 45 ft. high, and is ground in screenless ball mills with air separation. Automatic weighing machines are used for packing sacks, and automatic barrel filling machines with shaking mechanism for barrels.

The Union Works, Ennigerloh.

This works uses the same raw materials as the Grimberg and Rosenstein works. They are quarried by hand, and transported to the plant by locomotive. The power plant consists of four Lancashire boilers (each with 1,075 sq. ft. heating surface), two dynamos, and two twin-cylinder steam engines. The dry process is used. The raw meal is prepared by a "Titan" hammer crusher, two rotary driers, a coarse mill, and a tube-mill with air separation. Three silos are available for storage. Burning is carried out in three 100-ft. rotary kilns of 6½ ft. diameter. The clinker is stored in a building 26 ft. high, which is filled and emptied by means of conveyor tunnels. The clinker is ground in two Löhnert tube-mills and a Krüpp grinding plant consisting of coarse and fine mill, using air separation. The cement is stored in six silos, with chain discharge. "Libra" sack weighing machines are used.

Horstkoetter and Illigens Works, Beckum.

The raw materials—limestone and marl—are worked by automatic excavators, and are transported to the works along a light railway. Power is developed by fire-tube boilers, with superheaters and compound condensing steam engines. There is also connection to an electricity supply. These works use the dry process. The raw material is prepared by "Titan" crushers, rotary driers using the kiln waste gases, and ball and tube mills. The raw meal mixing silos are of cellular construction in reinforced concrete. The raw meal is fed to the kilns by mixing screws, in which it is moistened. The kilns are Polysius rotary kilns with enlarged clinkering zones. The clinker is ground in large compound mills and the cement stored in wooden bins fitted with automatic discharge and weighing machines. The wagons are loaded by hand.

The Zollern Works at New Beckum.

Limestone and marl constitute the raw materials of these works, the quarrying being done by hand. The broken stone is conveyed to the works by light railway. The dry process is used. After breaking in two stone crushers, the material is dried in two rotary driers, and ground in a ball and tube-mill combination, as well as in a compound mill. For the shaft kilns the raw meal is briquetted in four Polysius presses. The works possesses three rotary kilns, an annular kiln, and four shaft kilns. Like the raw materials, the clinker is ground partly in a ball and tube mill combination and partly in a compound mill. The clinker store holds 6,000 tons, and the cement silos 4,500 tons.

No. 3 Lengerich Works.

The raw materials are obtained from the western slopes of the Teutoberg Forest hills. They belong to the upper chalk formation, and consist of impure (plaener) limestone and marl which are blasted, broken, and transported to the works by locomotive. The quarries are worked in terraces. The entire power is obtained from the 30,000 volt electricity supply, which is transformed

down to 500 volts in the works. The wet process is used in this works, the slurry being prepared by means of double rolls and two wet tube-mills. It is then pumped into reinforced concrete mixers where it is agitated by compressed air. Krupp and Humboldt rotary kilns are installed. The clinker is conveyed to store by an inclined elevator and is ground in compound mills charged with steel balls. The cement is stored in reinforced concrete silos with sack-packing machines attached.

The Klasberg Works, Beckum.

Limestone and marl are obtained by automatic excavators, and conveyed to the works by locomotive. Flame-tube boilers with superheaters and compound condensing steam engines, together with the high voltage electricity supply, provide the necessary power. The kilns work the dry process. The rotary driers are on the opposing current principle. The preliminary crushing is carried out with jaw and "Titan" crushers. The fine grinding is carried out in compound mills. The raw meal is stored in reinforced concrete compartmental silos and is moistened in the screw conveyors which feed it to the rotating table presses in which it is briquetted. The burning is carried out in automatic Grueber rotary grate shaft kilns. The clinker is ground in compound mills, and the cement is stored in reinforced concrete cellular silos, with automatic discharge.

In 1929 the Wicking Company combined with further previously independent works. The quota of these works in the output of the cartel has usually been taken over by the older works, and only the manufacture of lime has been left to the newly absorbed works; they have, however, been compensated by the Wicking Company for their diminished output of cement.

In addition to its separate works laboratories, this extensive concern, under the leadership of Dr. ten Hompel, has for some years had its own research institute with Dr. K. Biehl as director. Almost all the Wicking works have developed from lime works, and the greater number still produce gypsum and hydraulic lime in addition to Portland cement. Several of the works have more recently commenced the manufacture of high-strength rapid-hardening cements.

The Spanish Cement Industry in 1930.

THE Comisión Asesora, which regulates in Spain the intercourse between the Government of the new Republic and the cement industry, has published a second report covering the activities of the Spanish cement industry during 1930. The production, sales and consumption of cement are set out in detail. Some coloured charts give a very clear illustration of the cement production, exports, and imports of the principal countries in the world. A map of Spain shows the position of all the cement mills and defines the areas that can be supplied by each mill without the cost of transport from the mill to destination exceeding 20 pesetas per ton. A chart gives all the trade marks of the cement producing companies in Spain, and the report concludes with a few photographs of public works and of the new Cordoba mill of the "Asland" Company.

The "Concrete Year Book," 1932.

THE Directory section of the "Concrete Year Book" is now in course of revision for the 1932 edition, and any cement manufacturers, suppliers of cement-making machinery and testing apparatus, laboratories for testing cement who have not already received an entry form are asked to communicate with the publishers (Concrete Publications Ltd., 20 Dartmouth Street, S.W.1), in order that a form may be sent. Entries in this Directory are entirely free of charge.

A Comparative Study of the Portland Cement Industry in the United States of America, Canada, and the United Kingdom.—VII.

By HAL GUTTERIDGE, A M.I.Mech.E., M.I.E.I.

Grinding Plant.

As there is much that is common in the units used for hard raw material and clinker grinding, both are discussed here and the differences pointed out. In earlier times the reduction of hard material from a maximum of $1\frac{1}{2}$ inch size to the required fineness was invariably carried out in two stages. The first stage, where the material was reduced to a coarse grit, was performed in a ball or other type of preliminary mill, and for the second stage, where the material was pulverised to the ultimate fineness, the tube-mill was generally



Fig. 1.

adopted. The two-stage grinding by ball and tube mills had certain drawbacks, particularly in regard to the large amount of gear and space required. To overcome these disadvantages the "combination" mill was introduced, which combines the action of the ball and tube mills in one unit. This type of mill, an illustration of which is shown in the Vickers-Armstrong mill (Fig. 1), is now generally adopted for both raw material and clinker grinding and has three or four compartments. A development of the parallel combination mill is in the increase of the diameter at the preliminary end so as to approximate more closely to the relative increase in the ball speed of the ball mill over the ball speed of the tube mill. It is claimed that greater efficiency is obtained with the enlarged end combination mill than with the parallel mill, principally on account of the ability of the preliminary ball chamber to deliver a finer

product to the remaining compartments with high capacity. The construction of this mill with the taper connecting section produces a very strong mechanical connection between a mill of two diameters and also an improved ball action in the preliminary chamber. Higher ball speed is obtained in the preliminary end than in the discharge end of the first chamber, where the speed of the balls approximates to that of the balls in the subsequent fine grinding chambers on account of the relatively smaller size of the material at the discharge from the first chamber.

On the other hand the advantage in efficiency of the two-diameter mill is

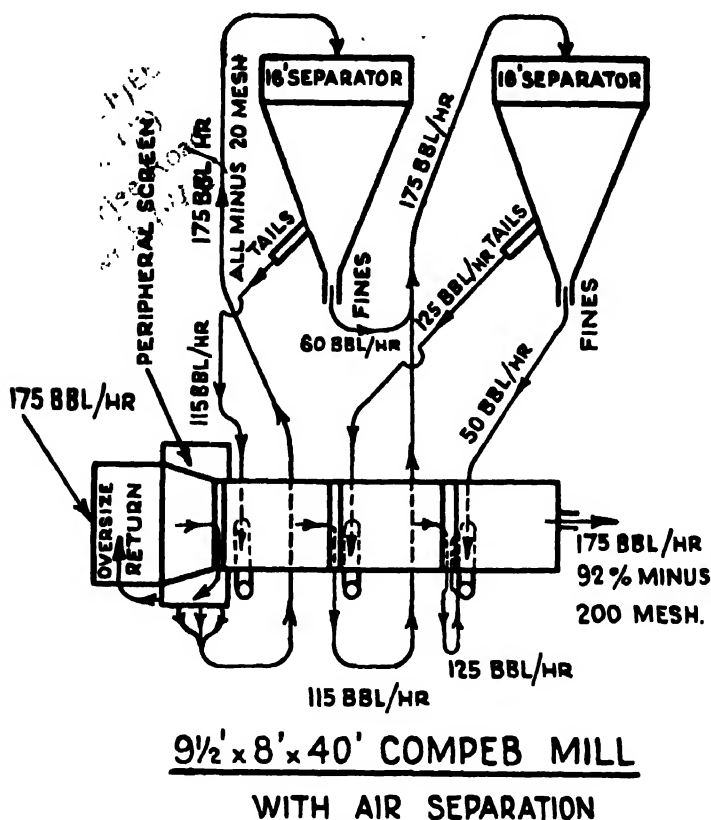


Fig. 2.

considered in many quarters not to off-set the additional expense of that unit over the parallel mill, and that the matter can be successfully dealt with by varying the contour of the grinding plates. Success in using combination mills with three or four compartments depends on the knowledge, gained by experience, of how to line the mill in the different compartments and what type of ball charge should be put in each individual compartment for a given material.

Closed Circuit Grinding.—In all hard materials which have been subjected to crushing, there will be a quantity of material which, because of its fineness, will not require further reduction or, alternatively, will only require a certain small degree of further reduction to bring it to the required size. In open-circuit grinding all this material is put through every consequent stage of grinding, with the result that unnecessary power is absorbed and part of the



Fig. 3.

material is reduced to a greater degree of fineness than is required. It is proved that the inclusion of " fines " amongst coarser materials in a mill provides a cushioning effect which materially retards the rate of breaking down the material. In the closed-circuit system, this cushioning is reduced by withdrawing, at certain stages of the grinding process, all the material which has been reduced below the size appropriate to such stage. Such material, if of the fineness finally required, is not again introduced into the system for further reduction, but all other abstracted material above such a degree of fineness is again introduced at a later stage for this purpose. In cement practice it is usual, for mixing purposes only, to return all material abstracted to the last stage of grinding so that the product may be homogeneous.

For the correct clinkering of the raw materials in the kiln certain conditions are required, and not the least important amongst the physical requirements is the uniform fineness of the raw material. If the raw material as fed to the kiln is composed of particles of varying sizes from coarse to very fine the resultant clinker will suffer in that the fine particles will be over-burnt and the coarse under-burnt. Any means by which the fineness of the material can be regulated to diminish the extremes will therefore act beneficially. The closed-circuit system gives a very much greater control over the uniform degree of reduction than the open-circuit can give, and this can be applied to the elimination of ultra-fine particles. The Bureau of Standards at Washington has recently confirmed that there is no advantage to burhing in having any portion of the material finer than 300 mesh, so that the latter point is important.

In the United Kingdom the advantages of closed-circuit grinding of clinker was recognised so long ago as 1910, when a clinker grinding mill made by Ernest Newell & Co. was installed in England. The clinker was fed to the mill in the usual way, and the product elevated to a classifier which separated that portion which was of a sufficient degree of fineness to go forward, from the remainder which was returned to the mill to join the incoming clinker for

further reduction. This mill was a single-compartment mill and therefore the amount of control and comparative saving in power were limited. The development of this system and its application to three and four-stage combination mills have led to greater definite control over the uniform size of the product in that separators can be interposed between each stage.

An example of the closed-circuit system applied to a four-compartment combination mill is shown in the flow diagram in Fig. 2, and Fig. 3 illustrates the mill to which it is applied, by Allis-Chalmers in the U.S.A. It will be seen in the flow diagram that at the end of the first stage the oversize is returned to the incoming stream for further reduction, and the minus 20 mesh is extracted and passed to No. 1 separator. From this separator the finer material is sent to No. 2 separator and the coarser material is passed to the second stage. The discharge from the second stage goes to No. 2 separator, the coarser portion being returned to No. 3 stage. The product of No. 3 stage goes direct into No. 4 stage for final reduction together with the finer material from No. 2 separator, so that all the material is ground together in the last stage and is thereby properly mixed.

During the last two years closed-circuit grinding has received considerable impetus, particularly in dry raw material grinding. It is employed either in the large compartment combination mills or various types of separate preliminary grinders. Most of the closed-circuit dry grinders use air-separators to remove the "fines," but vibrating screens are in some cases installed for this purpose. In the U.S.A. in 1930 about fourteen cement companies installed closed-circuit grinding of dry raw materials with air separators as classifiers. One company installed an air-swept mill, which is a form of closed-circuit where a current of air sweeps through the mill picking up the ultra-fine and slightly coarser materials which are then separated, the coarser portion being returned to the mill for further grinding. In wet grinding three companies in 1930 employed closed-circuit grinding, two using it in the preliminary compartment only with vibrating screens as classifiers and the other in the ultimate stage using additional water for greater efficiency in grinding, and employing bowl thickeners for partial de-watering of the slurry after grinding.

In comparison with the U.S.A. and Canada, there is little scope for employing the closed-circuit system on the raw material side in the United Kingdom, for the majority of the materials in the last named country are soft and can be reduced to the fineness required by washmill treatment only.

Effect on Flue Dust.—In addition to the direct benefits of closed-circuit raw material grinding in the saving of power for the same quantity, or alternatively, an increase in production with the same power, and improved control in the uniform size of the ground product giving better burning conditions, there is an indirect benefit in connection with the quantity of dust rejected by the kiln. The dust from a rotary kiln consists mainly of unburned raw material, partially calcined material, and, in coal-fired kilns, coal-ash. The first two of these, and particularly the first, are directly connected with the fineness of the raw materials, for the greater the percentage of ultra-fine material the greater will be the quantity of dust, as the lighter the particles of unburnt or partially-burned raw material the more easily will they be picked up and carried out with the gases. Any methods which reduce or eliminate the very fine particles will decrease the amount of dust. Closed-circuit grinding gives a greater control in this direction, and thereby provides a means to reduce the quantity of dust. It is a matter for further research as to what extent, with any particular raw materials, the lower limit of fineness can be raised consistently with sustaining

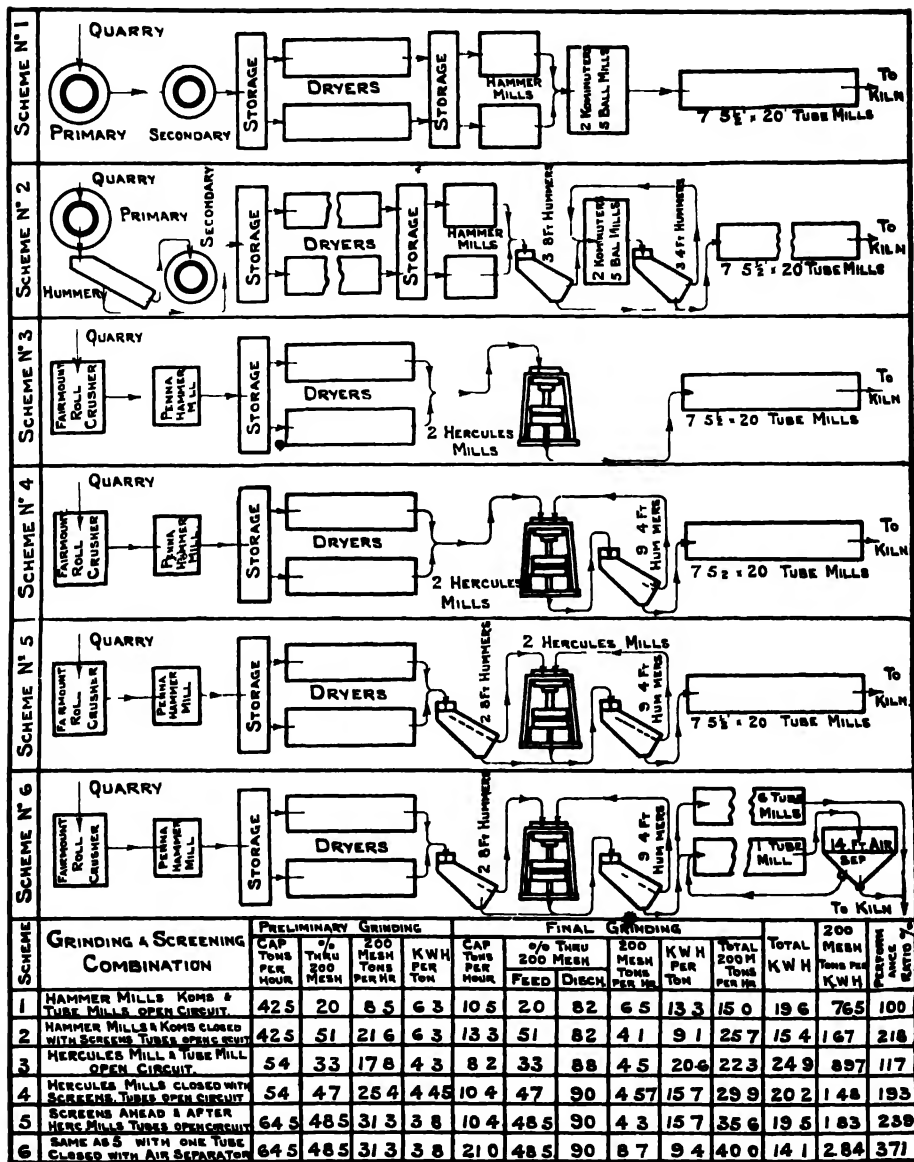


Fig. 4.

the quality of the cement, for any increase in the lower limit of fineness will be reflected in lower preparation costs. If it were established with any particular raw materials that all or the major portion of all material below a certain degree of fineness is rejected from the kiln, it is certainly not economical to allow it to go forward to the kiln, for heat and work would unnecessarily be wasted upon it in addition to the cost of collection. If this condition does

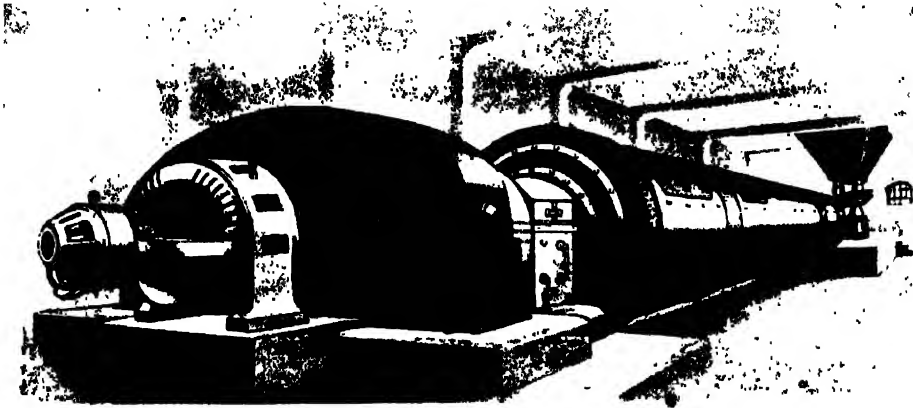


Fig. 5.

exist it would be better to separate such fine material at the earliest possible stage in the preparation of the raw material. The question could be examined by analysing the grading of the material as fed, and comparing such analysis with that of the flue dust with and without the minus 300 mesh in the feed. If, for example, the fed material contained $2\frac{1}{2}$ per cent. of material below 300 mesh, and the dust from the kiln was 5 per cent. of the weight of the raw material, and 50 per cent. was under 300 mesh, then the deduction might reasonably be drawn that it would be likely that, by the elimination of such fine material, the fine dust would be eliminated or greatly reduced. In cement kiln dust the quantity of particles finer than 300 mesh may be 50 per cent. or more, so if by closed-circuit grinding the material finer than 300 mesh were eliminated the quantity of dust could possibly be halved. It is true that the finer dust is not the most objectionable, for it will travel on a light breeze considerably farther than the coarser dust, but its elimination would assist materially in reducing dust. It has been found that with a 10-mile an hour breeze from a chimney 200 ft. high particles of 300 mesh will travel $2\frac{1}{2}$ miles while particles of half that size will travel five times as far. The question of closed-circuit grinding in relation to dust is therefore one worthy of the closest attention.

Another combination of complementary units which should operate together with advantage is the closed-circuit grinding unit and the spray-feed system. In the spray-feed system each particle is delivered from the nozzle with a definite initial speed, and in its path down the kiln meets the hot gases which resist its progress and gradually bring it to rest. With constant initial speed and a constant resistance a particle of any particular size will follow a definite path which can be easily calculated. The two conditions in practice which cannot be kept entirely constant are the draft (which is liable to fluctuate) and the size of the particle (which varies). With induced-draft fans, and particularly

when a combined kiln cooler unit is installed, the limits of fluctuation of the draft can be brought to within small limits, but the variability in sizes of the particle still remains with open circuit grinding.

The larger the particle with a definite initial speed the greater will be its momentum and therefore its power to overcome a given resistance. Therefore, if the smaller sizes be eliminated from the feed a greater percentage of the material will proceed down the kiln. It is within the compass of closed-circuit grinding to provide this condition by avoiding the production of the ultra-fine

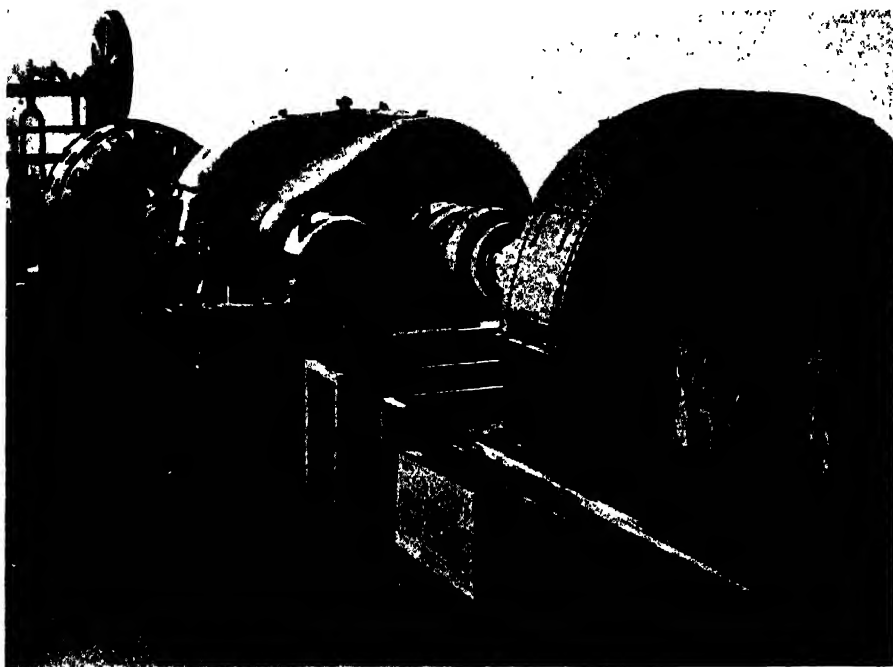


Fig. 6.

particles, and therefore it would appear to assist and extend the scope of the spray-feed system.

Clinker Grinding.—In grinding clinker the results aimed at in regard to fineness are entirely different from those required in raw material grinding. In the latter the production of ultra-fine particles is not desirable, but in grinding clinker the finer particles are essential. The coarsest particles are not desirable in either the raw or clinker grinding product. There is a little doubt in some quarters as to the suitability of closed-circuit grinding on clinker duty. With open-circuit grinding the product is a mixture of all degrees of fineness up to the maximum size and it is known by experience the qualities of concrete this will produce, but with closed-circuit grinding a more uniform product of any degree of fineness is obtained and the doubt arises only from the absence of experience as to whether or not this will act beneficially on the resultant concrete.

Owing to the comparative absence of cushioning of the material in the mill under closed-circuit grinding conditions, the resultant particles, instead of being rounded, have sharp edges and thereby give a greater area of contact and

produce a greater reaction upon hydration. Three closed-circuit clinker grinding units were installed in 1930 in the U.S.A. and the results of these will go far to prove whether or not there is any justification for this doubt.

Separators.—The employment of separators, either air or screen, has been discussed in the article on the "Preparation of Raw Material" and others in this series, and it would be well at this point to review their use throughout the works. With hard materials, beginning from the quarry end, separators can first be used between primary and secondary crushers to by-pass the finer material around the secondary. In the dry process separators are employed to by-pass the finer material from the driers round the preliminary grinding mill to the final raw grinding tube-mill. Then separators can be used in closed-circuit with the preliminary grinding mill and on the final raw grinding mill whether it be a tube or combination mill. With soft materials, where the whole



Fig. 7.

of the reduction of the raw materials is carried out in washmills, the separation is performed immediately following the individual or combined washmills. At the clinker end, separators are used in closed-circuit with the preliminary clinker grinding mill and in the final tube-mill or in closed-circuit with the combination mill.

The type, size, and arrangement of the separators which are best fitted to produce the highest return on the outlay depend principally on the raw materials used. In existing plants the grinding units employed and the general lay-out also govern to a large extent the choice and arrangement of separators. In new plants, the full value of separators arranged as a normal part of the process is available, with consequent reduction in operating costs.

The extent of the reduction in operating costs by the introduction of screens depends on the conditions obtaining in any particular works, so that any attempt to give figures which would be applicable generally is useless. Examples, however, are indicative and in Fig. 4 are given the raw material operating results from a cement works in Pennsylvania, supplied by the Mining and

Industrial Equipment Co., Ltd. The results are of great value in that the introduction of separators is progressive and the individual effect of each addition is detailed. It will be seen that in No. 1, open circuit, straight-through process is adopted using gyratory for primary and secondary crushers and hammer mills and ball mills for preliminary grinding. In scheme No. 2 a separating screen was introduced to by-pass the finer material round the secondary crusher, a screen to by-pass round the ball mills, and in addition the ball mills were put in closed circuit. The result of this change was an increase in the rate of output of 200-mesh material from 15 to 25.7 tons per



Fig. 8.

hour, and an increase in tons per KWH. from 0.765 to 1.67. With the performance ratio reckoned on No. 1 scheme as 100, scheme No. 2 showed 218 per cent.

In scheme No. 3 the results of the change to roll and hammer crushers and Hercules mills on open circuit straight-through process will be seen, showing a slight improvement only on No. 1 scheme. In No. 4 scheme the Hercules preliminary is put in closed circuit and the results approach No. 2 scheme. In No. 5 scheme, the results from introducing an additional screen by-passing the finer material round the Hercules, show a decided improvement on the most efficient of the former arrangements, i.e., No. 2, and raise the performance ratio to 239 per cent. and the rate of 200-mesh material produced to 1.83 tons per KWH. With the additional introduction of separators giving closed circuit to one of the six tube mills, the rate in tons per KWH. is raised to 2.84 and the performance ratio to 371 per cent.

By changing the mills and introducing separators the overall performance ratio has been raised from 100 to 371 per cent. and the output from 0.765 to 2.84 tons per KWH. It is also interesting to note that, with the same reduction units (schemes Nos. 3 to 6) by the introduction of separators the rate of output has been raised from 22.3 to 40 tons per hour with a reduction in the quantity of energy required from 24.9 to 14.1 KWH.

Central Drive.—For some time past a development in the method of driving combination mills has been taking place. Formerly in all three countries the peripheral spur gear and pinion drive was universal, but recently the central

drive has been introduced and used in many of the most modern cement works in the United Kingdom. The central drive, an illustration of which by F. L. Smidth is seen in Fig. 5, has the advantages that the gears can operate under very much improved conditions where they are entirely free from abrasive dust, and they are always running in oil which is being continually circulated, filtered and cooled. The gears in the enclosed gear box can be kept at a constant temperature and therefore can be run deeply in mesh with small clearance, in contrast with the peripheral drive gear which, because it is directly exposed to the heat from the mill and cannot be kept at a constant temperature, has to have a large clearance to accommodate the expansion of the mill. Further, the central drive arrangement lends itself more adequately to the use of roller bearings throughout. Each of these improved conditions contributes its quota towards the greater efficiency obtained with the central drive.

Fig. 6 shows the central drive by Edgar Allen & Co., Ltd., and Fig. 7 a 500-875 H.P., 750/121.5 r.p.m. central drive gear unit by The Power Plant Co. The latter unit has some interesting features, for with it a low speed for barring and starting and a high speed for working are obtained using only one motor. When starting, the counter-shaft or back shaft is brought into engagement, the direct driving clutch being disengaged. When the mill is up to barring speed the direct drive clutch is engaged, and when this picks up the speed, the back shaft is automatically disengaged. The gearing is single helical, having a small helical angle of about $7\frac{1}{2}$ degrees. This gear gives a progressiveness of action not possible with straight-tooth gear and the small angle does not set up any objectionable end thrust.

The magnetic clutch on heavy drives is a feature which is frequently seen in the U.S.A. and Canada; it is used in the drive between synchronous motors and combination or tube mill. The motor is started without load and the clutch picks up the load at the will of the operator. The time for acceleration in any ordinary sized mill is about 5 seconds and the inrush taken in the motor is in the neighbourhood of 50 per cent. above normal running load. The control of the Cutler-Hammer clutches is very simple, being a manually operated rheostat provided with seven or eight steps. The resistance steps are proportioned to give a range of driving force from the clutch of approximately three to one. Alternative controllers have a sensitive current relay connected in the main motor circuit so that if the current exceeds a limiting value the excitation of the clutch is reduced and the driving force reduced below the full load motor torque. Then as soon as the current drops the relay circuit recloses and the clutch is again energised with full voltage until the limiting current in the motor again exceeds the setting of the relay. In this manner the clutch driving force varies between two limits as determined by the adjustment of the relay.

Roller Bearings.—The introduction of roller bearings in place of plain bearings in heavy rotating units such as grinding mills and kilns is a normal development which is taking place in the quest for higher efficiency in cement practice. Both in the United States and the United Kingdom roller bearings have been successfully used in grinding mills as detailed below and in kilns which was discussed in No. VI of this series under the heading "Kilns."

Roller bearings offer many advantages over plain journals, chief of which is the reduction in power required to perform the same quantity of useful work, which reduction should be of the order of 15 per cent. to 20 per cent. or more if roller bearings are used on the pinion spurwheel shaft of the peripheral drive or in the gear box of the central drive in addition to the main trunnions.

The durability of roller bearings is appreciably greater than that of plain bearings. The consumption of lubricant by the roller bearings is considerably less than in the case of the plain journal bearings—the saving being of the order of 70 per cent. On the other side of the account is the greater initial cost of the roller bearings, but on account of the savings which accrue in operating costs this additional initial outlay should under normal conditions be recovered in about three years.

Owing to the comparative inefficiency of grinding mills, a material portion

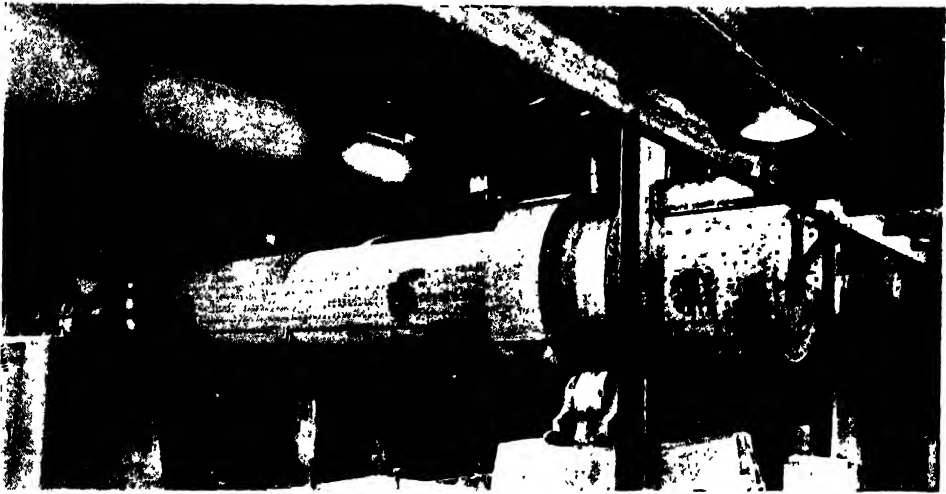


Fig. 9.

of the power supplied is converted into heat instead of into the useful work of the reduction of the material. This heat, besides being wasteful, has the disadvantages of making the material, particularly clinker, harder to grind, and causing an inconvenient expansion of the mill when in operation. This expansion, in its axial direction, which is of the order of $\frac{3}{4}$ inch in a mill 40 ft. long, has to have special arrangements made for its accommodation.

In the two-point support arrangement in the lighter mill with plain bearings, where there is a central trunnion bearing at each end, it is not usual to find any arrangements for this increase and decrease in the length of the mill other than a clearance sufficient to take up its maximum axial expansion. So the condition exists where, until the heat being generated has suffused the mill as a whole to its maximum temperature, and consequent maximum length, there is an exposure of actual bearing surface to the abrasive ground material which is present in the atmosphere to a greater or lesser extent at this point. To remove this unfavourable condition, a roller bearing has been designed so that there is no unnecessary clearance between the bearings whatever the length of the mill may be between its minimum and maximum limits. The Skefko Ball Bearing Co., whose bearing is shown in Fig. 8, mount their roller bearing, remote from the driving end of the mill, on three steel parallel edges which accommodate whatever variable axial displacement exists at any time due to changes of temperature of the mill. These steel pieces take the form of an inverted "V," the bottom surface being curved, and having a radius

equal to the normal vertical height of the " V " so that in whatever position the edges may be between the prescribed limits the height of the shaft is constant. The roller bearings at both ends, while allowing no axial play, are spherical, so that each individual roller always takes its full load whatever the position of the mill.

For the heavier mills the three-point support arrangement, as shown in Figs. 9 by Timken, and 10 by Skefko, is installed where the driving end is supported in a roller bearing of the spherical type and the other end on carrying rollers. Any change in length of the mill is accommodated in the freedom of the tyre surrounding the mill to slide on the rollers. The Timken Roller Bearing Co. of the U.S.A., design their bearing at the driving end so that the



Fig. 10

bearing cones are pressed on the trunnion and the cups are mounted in the external housing. The housing is rounded and seats in a shallow depression in the pedestal making the whole assembly self-aligning. A Timken bearing is shown in Fig. 11.

An alternative arrangement for large mills with central drive is to provide two roller bearings mounted end to end on the solid journal. For the largest mills this arrangement has been found to be a more economical solution than to fit one single bearing of sufficient load-carrying capacity. In such a case it is essential that the load be divided equally between the two bearings. This is achieved where the bearing housing rests on a slightly ball-shaped plate of hardened ball-bearing steel. Should one of the bearings be less loaded than the other, the excessive pressure on the latter bearing will cause the housing to be pressed down on this side, in which case the bearings, owing to their ability to self-align, automatically divide the load between them.

It is necessary with roller bearings adequately to seal the bearings against intrusion by extraneous matter, and this is effectively realised by having two plates machined to form a labyrinth which prevents the entrance of dust or the escape of the lubricant. Lubrication is accomplished by a circulating oil system working under pressure and includes an oil filter and cooler in the circuit

SEPTEMBER 1981

CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE

PAGE 100

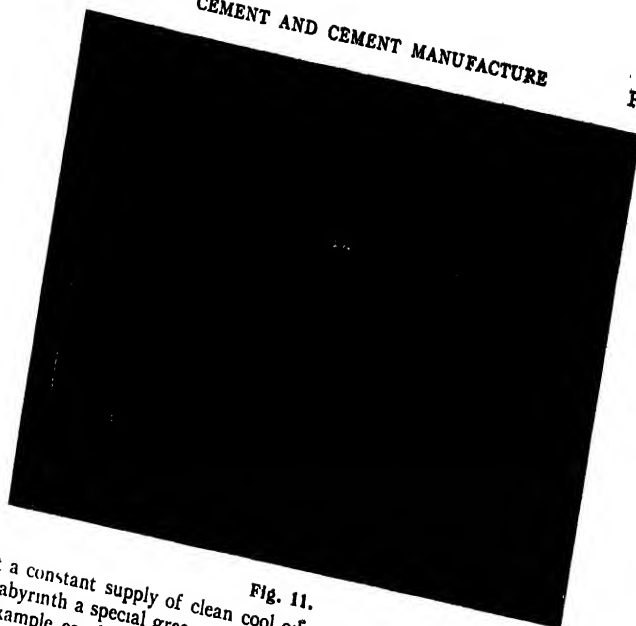


Fig. 11.
so that a constant supply of clean cool oil is always assured. For the sealing
of the labyrinth a special grease is used
An example can be taken of the application of roller bearings to a combina-

THE SIROCCO FAN

PIONEER OF MODERN MULTIBLADED FANS

Available in a large variety of sizes and types

For every purpose involving the movement of air or gases.

DAVIDSON & CO., LIMITED.
SIROCCO ENGINEERING WORKS, BELFAST.

LONDON, CARDIFF, BRISTOL, GLASGOW,
MANCHESTER, BIRMINGHAM, NEWCASTLE



tion mill in the south of England, where the two supporting rollers were fitted with " Skefko " bearings in 1927. The total weight of the drum, grinding elements, and material is 60 tons and the load per bearing 29,750 lb. This mill is 32 ft. long by 7 ft. diameter; the rollers, set 23 ft. from the bearing at the driving end, are 30 in. in diameter by 11 in. in width.

In the U.S.A. an example can be taken from a Pennsylvanian cement plant with combination mills fitted with Timken bearings. These mills, one on raw material and one on clinker grinding, are $9\frac{1}{2}$ ft. diameter at the enlarged end, 8 ft. diameter in the parallel portion, by 38 ft. long. Each mill, driven by a 1,100 H.P. motor, weighs 92 tons and carries a charge of 90 tons of grinding media. The two carrying rollers at the head end of each mill are 48-in. in diameter with a 24-in. face. The roller bearings are of 16-in. bore and $26\frac{1}{2}$ -in. outside diameter.

(To be continued.)

Previous articles in this series appeared in the issues of November, 1930, January, February, April, May, and July, 1931.

**Visco-Beth Dust Collector
installed in London Works.**



"VISCO" DUST COLLECTORS

are

Increasing Works Capacity.

Preventing Waste.

Reducing wear and tear of machinery.

Increasing workers' efficiency and cutting down Factory cleaning costs, etc., etc.

WRITE FOR DETAILS—

"VISCO"

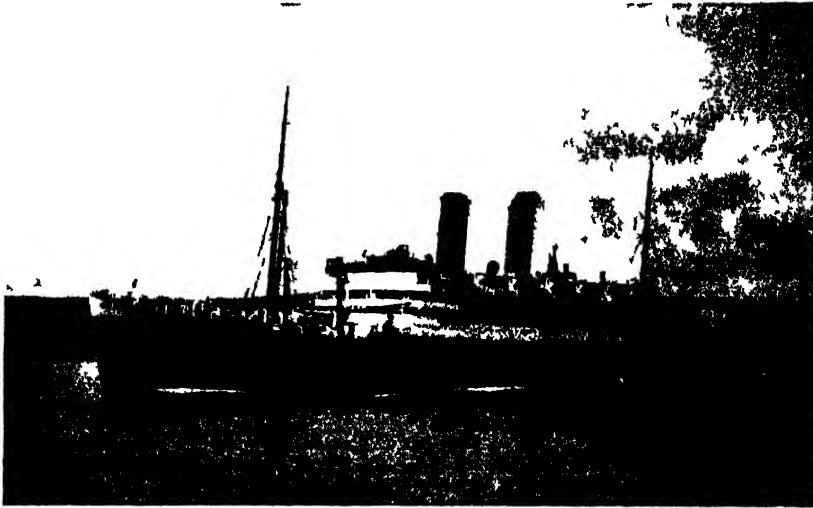
ENGINEERING CO. LTD.
162 GROSVENOR ROAD, LONDON S.W.1

Telephone:
Victoria
6531/2.

Telegrams:
Curtmit, Churton,
London.

The Orient Liner

“ORONTES” (20,000
Gross Tons)



Constructed at BARROW-IN-FURNESS by
Messrs. VICKERS-ARMSTRONGS, Ltd.

WIRED THROUGHOUT WITH
GLOVERS' CABLES

W. T. GLOVER & CO., LTD.
Trafford Park MANCHESTER.

Model of a Cement Works.

A VERY complete model of a cement works is one of the exhibits in the recently-opened show-room at Vickers House, Westminster. The model stands on a table 12 ft. by 5 ft., and is to a scale of $\frac{1}{8}$ in. to the foot, a replica in miniature of a works laid out with provision for future extensions and a capacity of 250,000 tons per annum. The raw material deposits are assumed to be immediately adjacent to the works, and means of transport by road, rail and water, are ideally to hand. The model is complete in many minor details, such as lightning conductor and the clovehitch on the barge mooring rope.

As will be seen from the illustration, the lay-out of the works is such that the raw materials, limestone, coal, and gypsum and the clinker, will be handled and distributed by an overhead travelling grab crane. The principal machinery units consist of two kilns each 375 ft. long, fitted with Vickers' patent

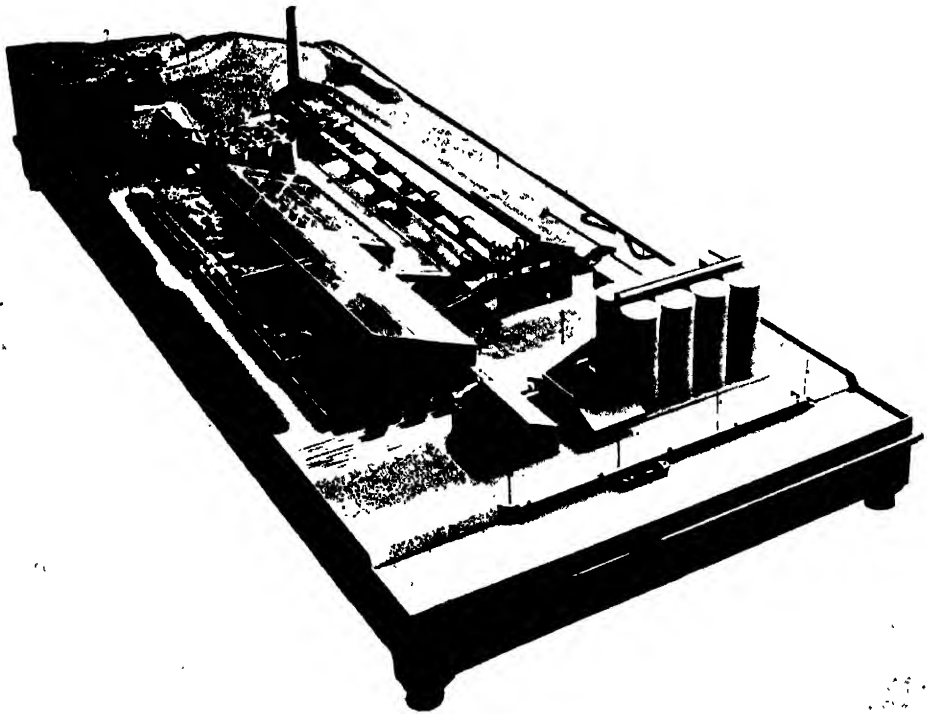


Fig. 1.

recuperator and fired by pulverised coal produced in an air-swept coal plant. An electrical dust precipitation plant is provided at the upper end of the kilns for the cleaning of the kiln exit gases. In accordance with modern practice, the wet grinding mills and the cement mills are all situated in one mill-house, and are of the central drive type. Pneumatic means of transport are arranged to convey the finished cement from the mills to the silos.

The following are the dimensions of the main pieces of plant: Swing jaw crusher, 72 in. by 48 in.; hammer crusher, 60 in. by 26 in.; clay washmill, 20 ft. diameter; wet grinding mills, 7 ft. by 40 ft.; cement mills, 7 ft. by 36 ft.; kilns, 12 ft. in the burning zone, 14 ft. calcining, 10 ft. 3 in. in the body and 375 ft. in length.

Rumanian Standard Specification for Portland and High-Strength Cements.

THE Standardising Bureau of the Rumanian Ministry of Commerce and Industry has recently issued standards for Portland and high-strength cements, which in their essentials are based upon the German standard specification (see CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, 1930, No. 12, p. 1655). The Rumanian requirements, however, differ from the German in the following respects:

WEIGHT PER LITRE.

	Portland Cement.	High-strength Portland Cement.
Unshaken	980-1,200 g.	980-1,200 g.
Shaken down	1,600-1,800 g.	1,600-2,000 g.

SOUNDNESS.—The kiln test and the boiling test are prescribed.

FINESS.—The residue on the 180 (per in.) sieve must not exceed 18 per cent.

STRENGTH.—An additional seven-days test is required for high-strength Portland cement, for which the minimum strengths must be

Tensile (1 : 3 mortar)	498 lb. per sq. in.
Crushing (1 : 3 mortar)	4,266 lb. per sq. in.

Notes from Abroad.

Syrian Cement Works.

We understand that the Soc. des Ciments Libanais, with a capacity of 60,000 tons, has commenced manufacturing cement.

Works are also being constructed at Damascus for the Soc. Nationale du Ciment et des Matériaux de Construction, to have an annual output of 45,000 tons.

Swiss Works Reconstruction.

The Cement und Kalkfabriken R. Vigier, A.G., is to recondition the Renchenette works, and an increase of capital is being considered.

United States Cement Company Reports.

The following profits and equivalent dividends have been declared for the year ended June, 1931, by cement companies in the U.S.A. (those in brackets are corresponding figures for the previous year): Lehigh Portland Cement Co., \$1,631,440, \$0.46; Pennsylvania Dixie Cement Corporation, \$115,551 (\$304,553); Alpha Portland Cement Co., \$546,583, \$0.57 (\$1,408,916, \$1.78). The following figures are for the period Jan.-June, 1931 (those in brackets are figures for the corresponding period in 1930): International Cement Corporation, \$1,000,627, \$1.59 (\$2,051,762, \$3.25); North American Cement Corporation, \$210,997 loss.

Polish Cement Company Reports.

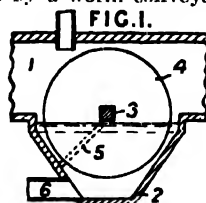
The following profits and dividends have been declared for 1930 (those in brackets are the figures for 1929): S. A. Fabryki Portland Cementu "Szczakowa," Poland, 1,119,000 zl., 20 per cent. (10 per cent.); Towarzystwo Fabryki Portland Cementu, "Łazy," S.A., Poland, 67,950 zl. loss; Góleszowska Fabryka Portland Cementu Tow-Ack., Poland, 6 per cent.; Tow-Ack, Przemysłu Cementowego "Wiek," Poland, 190,865 zl.

Cement Patents.

Rotary Furnaces and Driers. JOHNSON, F. A., Hookstone Waters, St. James' Park, Harrogate. Sept. 4th, 1929. No. 339,595.

In a rotary furnace or drier the material is subjected to the action of heating-gases, which are exhausted at a point intermediate the ends, and a part of the material is then subjected to the action of a fresh supply of gases. In the apparatus shown the material is fed by a hopper (D) into the inner and shorter of two concentric drums (A, B). The finer portions of the charge are sifted off through the screen-like portions (A', B') of the two drums, and are passed by a conveyor (I) to a container (M), while the coarser portions pass for further heating to the drum (B). Heating-gases from a fire-place (C) are passed to the inner drum, and are exhausted through the funnel (F) and flue (J), and a fresh supply of gases from

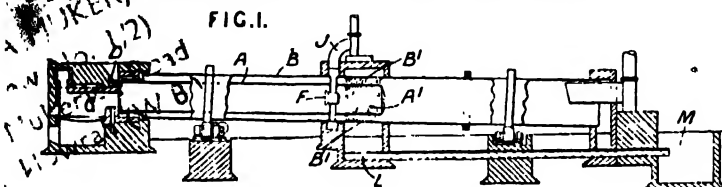
and is fed from the bottom of the recess to the furnace by a worm conveyor. Two sets



CEMENT SLURRY.

of intermeshing discs rotating in opposite directions may be employed and the discs may be corrugated.

Sack-tie. RAWLINS, J.D., Syston Court, Mangotsfield, near Bristol, and PAPER SACKS, LTD., Keynsham, Somerset. July 12th, 1929. No. 336,293.



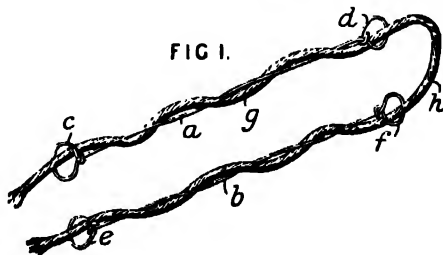
ROTARY FURNACES AND DRIERS.

separate fireplaces is delivered to the lower half of the furnace through the annular space between the drums (A, B). In a modification (fig. 2, not shown), the drum (A) extends for a short distance only into the drum (B), and in a further modification (fig. 3, not shown), in which the materials are heated out of contact with the gases, the inner drum extends the whole length of the outer drum. In the form of apparatus shown in fig. 1 the inner end of the drum (A) is closed by a plate with apertures having gravity-operated doors, which are opened only when they are below the charge; or the plate may have a central opening, to which the material is raised by spiral vanes. The material may be showered in the drums by lifting-blades, and its passage may be retarded by chains.

Cement Slurry. KRUPP GRUBENWERK AKT.-GES., F., Buckau, Magdeburg, Germany. January 29th, 1930. No. 348,062.

In a process for concentrating cement slurry prior to its entry to the cement furnace, by contact with hot exhaust gases from the furnace, the slurry contained in a depression (2) is brought into contact with the exhaust gases passing through a channel (1) by slowly rotating discs (4) to which the slurry adheres. The exposed surfaces also serving to remove the dust from the gases. The dried slurry is removed by scrapers (5)

A tie element for sacks, etc., consists of a wire which has extending throughout its length or only at the two ends adapted to be twisted together, a length of flexible yielding material. Alternatively the tie may be formed, as shown, from a length of flexible material (g) which laps two wire elements (a, b), passing through loops (c . . f). The tie is placed on the sack mouth and the ends (c, e) are twisted together by hand or by



SACK TIE.

a tool. The portion (h) gives a means for severing the tie to open the sack.

[The foregoing are taken from "The Illustrated Official Journal" (Patents) by permission of H.M. Stationary Office. Copies of full Specifications may be obtained from the Patent Office, 25, Southampton Buildings, W.C.2, price 1s. each.]

CEMENT

AND

CEMENT MANUFACTURE

LE JOURNAL INTERNATIONAL DU CIMENT EN QUATRE LANGUES.

PARTIE FRANÇAISE

Les normes allemandes, applicables aux fournitures de ciment.

Les nouvelles Normes allemandes, applicables aux ciments normaux, ont nécessité la révision des instructions complémentaires, ayant trait à leur analyse chimique; ce travail, qui a été récemment publié, est dû à une commission constituée par les Professeurs Burchartz, Grun et Guttmann, et les docteurs Haegermann et Luftschitz. Les renseignements que nous donnons ci-dessous concernent les instructions ayant plus particulièrement trait au ciment Portland.

I. Introduction.—On opérera les déterminations suivantes: (1) Perte au feu; (2) Résidu insoluble; (3) Silice soluble; (4) $Al^2O^3 + Fe^2O^3 + Mn^2O^4$, désignés par abréviation par R^2O^3 ; (5) CaO ; (6) MgO ; (7) SO^3 . L'analyse peut être complétée par la détermination de (8) Al^2O^3 ; (9) Fe^2O^3 ; (10) Manganèse; (11) Soufre à l'état de sulfure; (12) Alcalis.

II. Echantillonnage et traitement préparatoire.—Sur l'échantillon brut, après mélange intime, il sera prélevé un échantillon moyen de 100 à 200 gr, dont on extrait le fer au moyen d'un aimant puissant; le fer est ensuite pesé. L'échantillon est alors tamisé au moyen d'un tamis normal de 76 mailles par pouce (900 mailles au centimètre carré).

III. Concentration des solutions.—

HCl conc. pds sp. 1,19, approx. 38%.

HCl, pds sp. 1,10. 1:1, approx. 20%.

HCl dilué, 1:10.

Acide acétique dilué. 1 partie d'acide acétique glacial pour 3 parties d'eau.

NH^4OH conc. pds sp. 0,925, approx. 18%.

NH^4OH pds sp. 0,96. 1:1, approx. 10%.

Eau ammoniacale, contenant approximativement 2,5% de NH^3 .

Solution ammoniacale de nitrate d'ammonium, 10 gr nitrate d'amm. + 2 cc. d'ammoniaque concentré par litre.

Eau bromée. Solution saturée froide, contenant approximativement 13 cc. de brome par litre.

CO^3Na^2 en solution. 50 gr CO^3Na^2 par litre.

Oxalate d'amm. dilué 100 gr $(\text{NH}^4)^2\text{PO}^4\text{H}$, 12 H^2O par litre.

BaCl^2 en solution. 100 gr BaCl^2 , 2 H^2O par litre.

NO^3Ag en solution. 1,70 gr NO^3Ag par litre (approximativement N/100).

Eau oxygénée, solution commerciale à 3%.

Permanganate, pour le titrage de l'oxalate de calcium. 5,637 gr de MnO^4K par litre. 1 cc. = approx. 10 mg de CaO. Etalonner comme indiqué ci-dessous. On étalonne cette solution au moyen d'oxalate de sodium de Sorensen.

Solution pour la mise au point de la liqueur de permanganate. 0,2229 gr de MnO^4K pur, étendu à 1 litre avec de l'eau fraîchement bouillie. 1 cc. = 0,00010 gr MnO .

Solution de trichlorure de titane pour le titrage du fer.

(a) Solution de réserve. On prend la solution du commerce, à environ 15%. Chaque fois que l'on ouvre le flacon qui contient la solution, il faut déplacer l'air par CO^2 avant de reboucher.

(b) Solution de titrage. On dilue la solution de réserve avec la même quantité de HCl concentré (pds sp. 1,19), et l'on étend à 40 fois le volume de la solution primitive de TiCl^3 , avec de l'eau fraîchement bouillie. 1 cc. = 2 mg de Fe^2O^3 . La contenance du flacon est complétée au moyen de CO^2 .

On vérifie le titre de la solution de TiCl^3 au moyen d'une solution connue de sel ferrique, chaque fois que l'on est sur le point d'entreprendre une série de déterminations pour le fer. On dissout un gramme de Fe^2O^3 pur dans HCl , et l'on étend à un litre. On prélève dix cc. (= 10 mg Fe^2O^3) et on acidule avec HCl ou SO^4H^2 , on ajoute quelques gouttes d'une solution de thiocyanate d'amm. (100 gr par litre), et on titre la solution au moyen de TiCl^3 .

Perte au feu.—On opère sur deux grammes de ciment que l'on fait chauffer pendant deux ou trois minutes sur une petite flamme; on chauffe ensuite la capsule à 1000° dans un fourneau.

Silice + résidu insoluble.—On triture un gramme de ciment avec 10 cc. d'eau dans une capsule de 300 cc. On agite avec vingt-cinq cc. de HCl (1 : 1); quand la réaction est complète, on fait sécher le contenu de la capsule au bain-marie. Au refroidissement, ajouter 25 cc. HCl (1 : 1) et laisser reposer 15 minutes. Diluer à 75 cc., chauffer une demi-heure sur une plaque à circulation de vapeur, et filtrer. Lessiver d'abord à l'eau contenant 50 cc. de HCl concentré par litre, et ensuite à l'eau distillée.

Prendre le filtrat, et évaporer le liquide; chauffer dans ce but pendant une heure ou deux à 120-130°. Reprendre avec HCl , et opérer comme précédemment. Calciner finalement la substance retenue par le filtre dans une capsule de platine.

Fer + Alumine + Manganèse.—Evaporer à 150 cc. le filtrat provenant de la détermination de la silice, et chauffer à ébullition. Ajouter 10 cc. d'eau de brome et ensuite 1 gr de nitrate d'amm. à l'état solide. Précipiter au moyen d'ammoniaque dilué, versé goutte à goutte jusqu'à ce qu'il soit en léger excès, en continuant à chauffer avec un commencement d'ébullition. Filtrer à chaud et laver six fois avec du nitrate d'amm. en liqueur ammoniacale bouillante. Dissoudre le précipité dans HCl dilué (1 : 5), étendre à 150 cc. d'eau, et précipiter à nouveau. Calciner dans une capsule de platine.

Chaux.—Le filtrat provenant de R^2O^3 est réduit à 300 cc. Ajouter quelques gouttes d'acide acétique, et chauffer à 90°. Ajouter 3 gr d'oxalate d'amm.

et un excès d'ammoniaque, et faire bouillir cinq minutes, tout en agitant. Laisser déposer le précipité dans un endroit chaud, et filtrer. Laver à la liqueur d'oxalate d'amm. jusqu'à ce que quelques gouttes du filtrat, évaporées et calcinées dans une capsule de platine, ne laissent plus de résidu. Calciner la substance retenue par le filtre dans une capsule de platine jusqu'à poids constant. L'oxalate de calcium peut également être dosé par titrage avec le permanganate.

Magnésie.—Le filtrat provenant de la détermination de la chaux est réduit à 300 cc. Refroidir, et ajouter 10 cc. de liqueur de phosphate d'amm., et un tiers en volume d'ammoniaque concentrée. Bien agiter, laisser reposer au moins 18 heures, filtrer, et laver avec de l'ammoniaque froide (1 : 3). Calciner avec soin dans une coupelle en porcelaine. La magnésie est pesée à l'état $P_2O_5 \cdot Mg_2$, le coefficient donnant MgO étant 0,3621.

Résidu insoluble.—Triturer 2 gr de ciment avec 100 cc. d'eau dans une capsule de 400 cc. Ajouter 50 cc. de HCl (1 : 1) en agitant à froid. Chauffer rapidement, filtrer à chaud, et laver à l'eau chaude (filtrat A). Désagréger la substance retenue par le filtre avec 50 cc. d'une solution de CO_3Na_2 à 5%, au moyen d'une baguette de verre. Porter à l'ébullition, et filtrer à chaud. Lessiver l'alcali (1) à l'eau chaude; (2) à HCl très dilué; (3) à l'eau chaude. Sécher, et calciner dans une capsule de porcelaine.

Le filtrat A sert à la détermination de SO_3 et de Fe_2O_3 . Le dessécher, et en extraire SiO_2 comme pour la détermination de SiO_2 . Le filtrat laissé par SiO_2 est étendu à froid à 250 cc. dans un flacon normal. On prélève une centaine de cc. pour la détermination de SO_3 , et autant pour Fe_2O_3 .

Anhydride sulfurique.—On fait bouillir dans une capsule une certaine de cc. de la solution ci-dessus, et on ajoute 10 cc. d'une solution bouillante de $BaCl_2$. On recouvre la capsule et on laisse reposer 2 à 3 heures dans un endroit chaud. Après un repos de 18 heures, on décante le liquide qui surnage, en le versant sur un filtre, on fait chauffer le précipité plusieurs heures en l'humectant avec de petites quantités d'eau contenant quelques gouttes de HCl , et on décante après un court repos. On lave finalement le précipité sur le filtre, et on le rince avec HCl dilué et très chaud. On calcine le filtre, et on pèse SO_4Ba . On obtient SO_3 en multipliant par le coefficient 0,343.

Oxyde ferrique.—Les 100 cc. de filtrat A que nécessite cette détermination sont versés dans une fiole conique de 250 cc.; on ajoute 5 cc. de solution de H_2O_2 , la quantité en excès est expulsée par ébullition. Pendant le refroidissement, on ajoute 10 cc. de HCl concentré et quelques gouttes de thiocyanate d'amm., et on titre le liquide avec la solution normale de $TiCl_3$.

Alumine.—Se détermine généralement par différence. Les instructions donnent les détails de la méthode gravimétrique pour sa détermination éventuelle à l'état de PO_4Al .

Il est donné, en outre, tous détails sur les méthodes suggérées en vue de la détermination du manganèse, du soufre à l'état de sulfure, et des alcalis.

Conversion des mesures dans les traductions.

DANS tous les articles traduits, les unités de poids, de longueur, etc., sont approximativement traduites en unités anglaises ou métriques.

La détermination de la composition rationnelle d'un ciment Portland, en partant de l'analyse chimique.

par O. F. HONUS.

L'ANALYSE rationnelle d'un ciment a pour objet de mettre en lumière sa composition centésimale en substances hydrauliques; de cette donnée, il nous est possible de déduire certaines de ses qualités et de ses propriétés. Les exemples qui suivent font ressortir le rôle essentiel de l'analyse chimique dans le calcul de la composition rationnelle d'un ciment Portland.

Exemple 1.—Soit un ciment Portland de la composition suivante: $\text{CaO} = 65,20\%$; $\text{MgO} = 2,20\%$; $\text{SiO}_2 = 21,40\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6,20\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 3,40\%$. On admet que la totalité de la silice est combinée, et qu'il n'y a pas de chaux libre; pour un tel ciment, les proportions, exprimées en molécules-grammes (Mol.), deviennent les suivantes:

$$\begin{aligned}\text{CaO} &= \frac{65,20}{56,07} = 1,1529 \text{ Mol.} \\ \text{MgO} &= \frac{2,20}{40,32} = 0,05458 \text{ Mol.} \\ \text{SiO}_2 &= \frac{21,40}{60,06} = 0,3563 \text{ Mol.} \\ \text{Al}_2\text{O}_3 &= \frac{6,20}{101,94} = 0,06082 \text{ Mol.} \\ \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{3,40}{159,68} = 0,021292 \text{ Mol.}\end{aligned}$$

Le calcul se poursuit en dressant le tableau 1 (page 992); la première ligne est réservée à la désignation des constituants, et la deuxième aux quantités, exprimées en molécules-grammes comme ci-dessus. La méthode de calcul est la suivante: Dans les conditions où s'est opérée la cuisson du ciment Portland, l'oxyde de fer se présente à l'état de ferrite dicalcique ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$); cette formule indique qu'une molécule de ferrite dicalcique est constituée par une molécule de Fe_2O_3 et deux molécules de CaO . Il s'ensuit qu'à chaque 0,021292 Mol. Fe_2O_3 , correspondent 0,021292 Mol. $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$, et $0,021292 \times 2 = 0,042584$ Mol. CaO ; on consigne ces chiffres sur le tableau.

L'alumine se retrouve dans le ciment Portland sous forme d'aluminate tricalcique $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$. Une molécule d'aluminate tricalcique est constituée par une molécule de Al_2O_3 , et trois molécules de CaO . A chaque 0,06082 Mol. Al_2O_3 correspondent 0,06082 Mol. $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$, et $0,06082 \times 3 = 0,18246$ Mol. CaO . On reporte ces chiffres dans le tableau.

Dans les ciments Portland fortement alumineux, contenant plus de 10% de Al_2O_3 , l'alumine et l'oxyde de fer entrent en combinaison sous forme de ferri-aluminate tétracalcique $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO}$, et il y a lieu, pour ces ciments, de faire intervenir cette substance.

Pour l'oxyde de magnésium, on admet que cette substance se présente dans le ciment Portland sous forme de silicate dimagnésien $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{MgO}$. Une molécule de $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{MgO}$ est constituée par une molécule de SiO_2 et deux molécules de MgO . A chaque 0,05458 Mol. MgO correspondent 0,02729 Mol. $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{MgO}$ et 0,02729 Mol. SiO_2 . Ces chiffres sont reportés comme ceux de l'oxyde de fer et de l'oxyde d'aluminium.

On déduit alors de CaO total 0,042584 Mol. CaO au titre de $\text{Fe}^{2+}\text{O}^{3+}.2\text{CaO}$, et 0,18246 Mol. CaO au titre de $\text{Al}^{2+}\text{O}^{3+}.3\text{CaO}$; de même, de SiO^2 total, on déduit 0,02729 Mol. SiO^2 au titre de $\text{SiO}^2.2\text{MgO}$. On obtient alors :

0,927856 Mol. CaO et 0,329010 Mol. SiO^2

qui doivent se retrouver dans le ciment sous forme de silicate dicalcique et de silicate tricalcique.

Pour calculer ces deux substances, on procède comme suit : partant de la silice, nous admettrons d'abord que cette silice se répartit en quantités égales entre le silicate dicalcique et le silicate tricalcique. En divisant 0,329010 molécule de SiO^2 par 2, nous aurons :

0,164505 Mol. SiO^2 pour former $\text{SiO}^2.2\text{CaO}$

0,164505 Mol. SiO^2 pour former $\text{SiO}^2.3\text{CaO}$

A ces quantités correspondent :

0,329010 Mol. CaO entrant dans $\text{SiO}^2.2\text{CaO}$

et 0,493515 Mol. CaO entrant dans $\text{SiO}^2.3\text{CaO}$

0,822525 Mol. CaO

Nous obtenons ainsi 0,822525 Mol. CaO, à déduire de 0,927856 Mol. CaO disponible. Nous avons admis, comme il a été dit, qu'il n'y avait pas de CaO libre, et il s'ensuit que la différence, soit 0,105331 Mol. CaO, a formé du silicate tricalcique, lorsqu'elle est entrée en combinaison. Il nous faut déduire cette différence de la silice du silicate dicalcique, et l'ajouter à la silice du silicate tricalcique. On trouve :

pour $\text{SiO}^2.2\text{CaO}$

0,164505 - 0,105331 = 0,059174 Mol. SiO^2 = 0,118348 Mol. CaO

pour $\text{SiO}^2.3\text{CaO}$

0,164505 + 0,105331 = 0,269836 Mol. SiO^2 = 0,809508 Mol. CaO.

Pour le silicate dicalcique on trouve, par suite, 0,059174 Mol. et pour le silicate tricalcique 0,269836 Mol. Si l'on reporte les chiffres dans le tableau et si on les déduit de la chaux résiduelle et de la silice résiduelle, on obtient zéro pour CaO, et zéro pour SiO^2 .

Pour établir la proportion centésimale des diverses substances, il suffit de multiplier les molécules-grammes par le poids moléculaire.

$\text{Fe}^{2+}\text{O}^{3+}.2\text{CaO} = 0,021292 \times 271,82 = 5,80\%$

$\text{Al}^{2+}\text{O}^{3+}.3\text{CaO} = 0,06082 \times 270,15 = 16,40\%$

$\text{SiO}^2.2\text{MgO} = 0,02729 \times 140,70 = 3,83\%$

$\text{SiO}^2.2\text{CaO} = 0,059174 \times 172,20 = 10,20\%$

$\text{SiO}^2.3\text{CaO} = 0,269836 \times 228,27 = 61,67\%$

Si la composition dont l'on était parti était absolument exacte, il n'y aurait aucune objection à faire à cette méthode. On n'a tenu compte, ni de la présence éventuelle de SO^2 , ni des alcalis, ni de la perte au feu, due à CO^2 , à H^2O , et peut être en partie aux traces de combustible non brûlées; il en est de même de la silice soluble, qui représente en même temps la silice combinée à la chaux, et de la silice insoluble, qui représente la silice non combinée, et, enfin, de la chaux libre. Les chiffres fournis par le calcul ci-dessus ne donnent par suite qu'une première approximation.

Exemple 2.—Dans cet exemple, on partira de l'analyse élémentaire du même ciment; sa composition est la suivante :

CaO	65,20%	{ 64,05% de CaO combiné 1,15% de CaO libre
MgO	2,20%	
SiO^2	21,40%	{ 21,04% de SiO^2 combiné 0,36% de SiO^2 libre

Al^2O^3	...	..	..	6,20%
Fe^2O^3	...	..	..	3,40%
SO^3	..	..	..	0,40%
K^2O}	...	..	...	0,40%
Na^2O}	...	...	...	0,40%
CO^2	...	...	...	0,40%

La tableau II (page 995) donne le résultat des calculs; ce tableau appelle les remarques suivantes : en ce qui concerne CaO , MgO , SiO^2 , Al^2O^3 , et Fe^2O^3 , les molécules-grammes sont les mêmes qu'au tableau I. En plus nous avons

$$\text{SO}^3 = \frac{0,40}{80,07} = 0,004995 \text{ Mol.}$$

$$\text{K}^2\text{O} = \frac{0,40}{94,20} = 0,004246 \text{ Mol.}$$

$$\text{Na}^2\text{O} = \frac{0,40}{62,00} = 0,006460 \text{ Mol.}$$

$$\text{CO}^2 = \frac{0,40}{44,00} = 0,009090 \text{ Mol.}$$

SO^3 , dans le ciment Portland, est combiné à la chaux, sous forme de SO^4Ca (1 molécule SO^4Ca = 1 molécule CaO + 1 molécule SO^3). Donc, à chaque 0,004995 Mol. SO^3 correspondent 0,004995 Mol. SO^4Ca , et 0,004995 Mol. CaO .

Si l'on admet que les alcalis se comportent comme des agents vitrifiants, il convient de les faire intervenir dans les calculs sous forme de verres, de la composition $3\text{SiO}^2.\text{Na}^2\text{O}.\text{CaO}$, et $3\text{SiO}^2.\text{K}^2\text{O}.\text{CaO}$. Pour Na^2O , à chaque 0,00646 Mol., quantité calculée ci-dessus, correspondent 0,00646 Mol. $3\text{SiO}^2.\text{Na}^2\text{O}.\text{CaO}$, 0,00646 Mol. CaO , et 0,01938 Mol. SiO^2 . Pour K^2O , à chaque 0,004246 Mol. correspondent 0,004246 Mol. $3\text{SiO}^2.\text{K}^2\text{O}.\text{CaO}$, 0,004246 Mol. CaO , et 0,012738 Mol. SiO^2 .

Après avoir déduit de la chaux et de la silice totales les quantités ci-dessus, et compte tenu de la chaux libre et de la silice libre, on obtient comme différence 0,872465 Mol. CaO , et 0,290892 Mol. SiO^2 , que l'on retrouve sous forme de silicates di et tricalcique. On voit que le rapport $\text{CaO} : \text{SiO}^2$ est voisin de 3 : 1, ce qui indique la prédominance du silicate tricalcique.

Le calcul se poursuit comme pour l'exemple I; en divisant 0,290892 Mol. SiO^2 par 2, nous aurons en Mol. :

pour $\text{SiO}^2.2\text{CaO}$

$$0,145446 \text{ SiO}^2 = 0,290892 \text{ CaO}$$

pour $\text{SiO}^2.3\text{CaO}$

$$0,145446 \text{ SiO}^2 = 0,436338 \text{ CaO}$$

$$0,727230 \text{ CaO.}$$

La quantité de CaO disponible, déjà obtenue par différence, étant de 0,872465 Mol., il faut introduire dans les expression ci-dessus

$$0,872465 - 0,727230 = 0,145235 \text{ Mol. CaO}$$

ce qui donne :

pour $\text{SiO}^2.2\text{CaO}$

$$0,145446 - 0,145235 = 0,000211 \text{ Mol. SiO}^2 = 0,000422 \text{ Mol. CaO}$$

pour $\text{SiO}^2.3\text{CaO}$

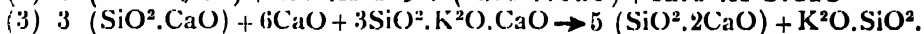
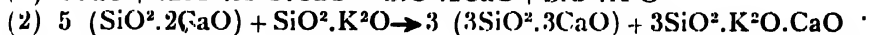
$$0,145446 + 0,145235 = 0,290681 \text{ Mol. SiO}^2 = 0,872043 \text{ Mol. CaO.}$$

On obtient par suite 0,000211 Mol. $\text{SiO}^2.2\text{CaO}$, et 0,290681 Mol. $\text{SiO}^2.3\text{CaO}$; tout CaO et SiO^2 se trouvent ainsi consommés.

Les proportions centésimales des diverses substances sont donc les suivantes :

CO^3Ca	$0,00909 \times 100 = 0,91\%$
$3\text{SiO}^2.\text{Na}^2\text{O}.\text{CaO}$	$0,00646 \times 298,25 = 1,93\%$
$3\text{SiO}^2.\text{K}^2\text{O}.\text{CaO}$	$0,004246 \times 330,45 = 1,40\%$
SO^4Ca	$0,004995 \times 136,14 = 0,69\%$
$\text{Fe}^2\text{O}^3.2\text{CaO}$	$0,021292 \times 271,82 = 5,79\%$
$\text{Al}^2\text{O}^3.3\text{CaO}$	$0,60682 \times 270,15 = 16,52\%$
CaO libre	$0,0206 \times 56,07 = 1,15\%$
$\text{SiO}^2.2\text{MgO}$	$0,02729 \times 140,70 = 3,84\%$
SiO^2 libre	$0,00600 \times 60,06 = 0,36\%$
$\text{SiO}^2.2\text{CaO}$	$0,000211 \times 172,20 = 0,36\%$
$\text{SiO}^2.3\text{CaO}$	$0,290681 \times 228,27 = 66,40\%$

Ce deuxième exemple nous montre qu'en faisant intervenir les alcalis, on a majoré la teneur en silicate tricalcique d'environ 4%, tandis que celle de silicate dicalcique a diminué de 10%. Les alcalis favorisent la formation du silicate tricalcique, du fait qu'ils consomment une grande partie de la silice pour former du verre; on peut également admettre que le verre exerce une action catalytique, et qu'il favorise en premier lieu jusqu'à une teneur déterminée la formation du silicate dicalcique, après quoi, l'état d'équilibre une fois atteint, il stimulerait sa régression à l'état de silicate tricalcique; on aurait ainsi affaire à un double phénomène de catalyse. Cette hypothèse peut s'exprimer par les égalités suivantes :



Pour compléter ce qui précède, nous nous proposons de montrer le parti que l'on peut tirer de l'analyse rationnelle pour apprécier les ciments Portland industriels, en particulier au point de vue de la résistance à la compression. Les investigations poursuivies à l'Institut des Recherches sur les Silicates à Brno ont porté sur onze ciments, et ont permis de calculer leur composition rationnelle; la partie chimique a été assumée par O. Kallauner* et par ses collaborateurs, J. Simane, S. Seidl, et I. Alejnikow, et les épreuves mécaniques ont été exécutées par S. Skoumal. Il est à noter que l'on n'a dosé, ni les alcalis, ni la chaux libre, et que l'on n'a par suite pas pu en tenir compte dans le calcul de la composition rationnelle.

Le tableau III (page 997) donne la composition chimique des onze ciments, leur module hydraulique, leur module des silicates, les refus sur tamis de 4900 mailles, et leur résistance à la compression (ciment : sable = 1 : 3) après 2, 7 et 28 jours de conservation dans l'eau et 28 jours de conservation alternée.

Le tableau IV (page 998) donne la composition rationnelle de ces onze ciments; sur la figure 1 (page 999), on a reporté les résistances à 2, 7 et 28 jours de conservation dans l'eau, et à 28 jours de conservation alternée, ainsi que les teneurs en silicate tricalcique, telles que le calcul les donne pour les divers ciments. Le graphique sous la figure concerne les refus de tamisage.

Il y a lieu de remarquer tout d'abord sur la figure 1 que la résistance du ciment 2 est plus faible que celle du ciment 1, malgré la teneur plus élevée en silicate tricalcique. Il semble que cette différence doive être attribuée à la fraction grossière du ciment, soit 10% environ de la masse totale, qui ne s'hydraterait pas complètement, et ne participerait pas au durcissement. Pour le ciment 3, la résistance augmente de nouveau, avec la teneur en silicate

* O. Kallauner "Composition chimique, et essais normaux des ciments tchéco-slovaques," Stavivo, 1929, No. 6, p. 147, et No. 7, p. 185.

tricalcique; le ciment 4 présente une nouvelle régression de la résistance, que l'on peut imputer, partie à la fraction grossière, voisine de 10%, partie à la faible teneur en silicate tricalcique et à la forte teneur en silicate dicalcique, ce dernier constituant devant être considéré comme un agent affaiblissant. Le ciment 5 montre une nouvelle augmentation de la résistance, correspondant à la teneur plus élevée en silicate tricalcique. Avec le ciment 6, la résistance subit une nouvelle régression, malgré l'augmentation de la teneur en silicate tricalcique; cette diminution de la résistance ne paraît pas pouvoir s'expliquer par la teneur élevée en gypse, qui est de 3,87%, mais il n'est pas impossible que le gypse contribue dans une certaine mesure à ralentir l'allure du durcissement. Peut-être aussi existait-il de la chaux libre, ce dont il n'a pas été tenu compte. Avec le ciment 7, la résistance décroît encore, ce que l'on peut imputer, partie à la fraction grossière (10% au tamis de 4900 mailles), partie à la teneur plus élevée en silicate dicalcique, jouant le rôle d'agent affaiblissant, et à la teneur plus faible en silicate tricalcique. Le ciment 8 présente une augmentation de résistance de 55 Kg/cm² sur le ciment 5, lorsqu'il est conservé dans l'eau, mais avec la conservation alternée, on obtient une régression de 11 Kg; ces différences paraissent pouvoir être imputées aux modifications qu'a subies le rapport $\text{Al}^2\text{O}_3.3\text{CaO} : \text{SiO}_2.2\text{CaO}$, et au refus de tamisage, qui dépasse de 1% celui du ciment 5 (6% contre 5%). Par suite de l'augmentation de la teneur en silicate tricalcique, les ciments 9 et 10 présentent de nouveau une augmentation de la résistance. Après 28 jours de conservation alternée, le ciment 11 est caractérisé par une légère rétrogradation de la résistance, qui semble devoir être imputée au refus de tamisage un peu plus élevé, et à la teneur un peu plus faible en silicate tricalcique, malgré la majoration de 30 Kg/cm² qu'il présente dans le cas de la conservation alternée; on se trouve ici en présence du phénomène qui s'est déjà produit pour les ciments 5 et 8.

L'hypothèse que toute augmentation de la teneur en silicate tricalcique s'accompagne d'une augmentation de résistance se trouve ainsi confirmée pour six ciments, sur les onze ciments industriels expérimentés, dans le cas d'une conservation alternée de 28 jours; avec 28 jours de conservation dans l'eau, la proportion est de sept ciments sur onze. Pour trois ciments, l'augmentation du refus de tamisage a coïncidé avec une diminution de la résistance.

Résumé.

(1) La composition rationnelle d'un ciment constitue une donnée, permettant d'apprécier les ciments Portland.

(2) Le calcul de la composition rationnelle d'un ciment se fait en partant de l'analyse élémentaire; celle-ci doit englober tous les constituants du ciment. L'analyse chimique doit donc porter sur les constituants suivants: SiO_2 combiné, SiO_2 libre, chaux combinée, chaux libre, anhydride sulfurique, soufre à l'état de sulfure, éventuellement SO_2 , et en outre CO_2 , MgO , Fe_2O_3 , K_2O et Na_2O . Comme K_2O et Na_2O peuvent être considérés comme des agents de vitrification, il convient de les faire intervenir sous forme de verre dans le calcul de la composition rationnelle.

(3) Le refus de tamisage est un élément d'appréciation important, pour juger de la qualité d'un ciment; on fera appel à cette donnée ainsi qu'aux rapports $\text{SiO}_2.3\text{CaO} : \text{SiO}_2.2\text{CaO}$, $\text{SiO}_2.3\text{CaO} : \text{Al}^2\text{O}_3.3\text{CaO}$, de même qu'à $\text{SiO}_2.2\text{CaO} : \text{Al}^2\text{O}_3.3\text{CaO}$.

(4) En procédant à des recherches précises, et en se basant sur la composition rationnelle du ciment Portland, il est très possible que l'on parvienne à mettre en lumière la manière dont le silicate dicalcique et l'aluminate tricalcique se comportent à l'égard du silicate tricalcique, ainsi que la nature de cette répercussion.

L'influence de la température sur le temps de prise du ciment Portland.

par F. WHITWORTH.

Avec l'emploi plus général des ciments finement moulus, on a voulu savoir quelle répercussion la température avait sur le temps de prise, et, en vue d'obtenir quelques données à ce sujet, il a été exécuté une série d'essais que nous exposons ci-dessous.

On a chauffé pendant trente minutes à diverses températures comprises entre 100 et 600° un ciment de composition normale, contenant 1,80% de SO^3 ; après refroidissement du ciment à l'air, on a procédé à des épreuves pour déterminer son temps de prise. Les résultats obtenus sont extrêmement intéressants; on a pu mettre en évidence trois points de transformation que nous nous proposons d'examiner, par ordre croissant des températures. Le ciment non chauffé était à prise lente (prise initiale en 110 minutes, prise finale en 190 minutes); jusqu'à 100°, on n'a observé aucune modification dans le temps de prise.

Premier point de transformation. Prise apparente.—En portant le ciment à 150°, on a constaté une modification très nette; la prise initiale se faisait en 10 minutes, tandis que la fin de la prise restait inchangée.

Comme le gypse change de constitution à une température voisine de 110°, et que les autres constituants du ciment ont déjà subi une température bien supérieure, on peut raisonnablement admettre que la modification constatée est due aux propriétés du gypse. Chauffé à une température voisine de 110°, le gypse ($\text{SO}^4\text{Ca} \cdot 2\text{H}^2\text{O}$) se convertit en plâtre de Paris ($\text{SO}^4\text{Ca} \cdot 0,5\text{H}^2\text{O}$), en abandonnant 1,5 molécule d'eau; les particules de sulfate anhydre contenues dans la masse se trouvent sous la forme alpha, et sont aisément solubles. Le plâtre reste dans le même état jusqu'à 200° environ; le plâtre de Paris, lorsqu'il reprend son eau, fait prise en 5 à 15 minutes.

La prise initiale du ciment chauffé au préalable constitue ce que l'on appelle la "prise apparente," phénomène qui se manifeste avec le maximum d'intensité en 10 ou 15 minutes. La masse semble ensuite rester à l'état inerte pendant assez longtemps, après quoi le durcissement reprend lentement, jusqu'à la prise finale. Le moment où la prise apparente se manifeste avec le plus d'intensité correspond approximativement à celui où le plâtre de Paris fait prise et devient dur.

J'ai déjà suggéré dans CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE (Avril 1930 et Juillet 1931) que la prise apparente était en réalité une recristallisation partielle, dans le ciment, du gypse déshydraté, recristallisation à laquelle participent peut-être la chaux libre et les substances riches en chaux (probablement les aluminates); la masse du ciment continue pendant ce temps à faire prise normalement.

Dans l'article qu'il a publié dans le numéro de Janvier 1931 de la présente revue, la professeur Kuhl expose que les premières aiguilles, dues à l'action réciproque du ciment et de l'eau, sont en certains cas des aiguilles de gypse. Cette observation a été faite en mettant de petites quantités de ciment en présence d'un excès d'eau, condition qui se réalise dans une certaine mesure, dans la période qui suit immédiatement l'addition de l'eau de gâchage.

Dans le numéro d'Avril 1931 de cette revue, M. Anzlovar suggère que le sulfate déshydraté qui se forme à la température du tube broyeur (laquelle dépasse rarement 180°, et serait généralement bien inférieure à ce chiffre) n'entre pas suffisamment vite en solution pour retarder la prise du ciment, ce

à quoi serait due la prise apparente. Or, c'est le contraire qui a lieu, le sulfate anhydre qui se forme à cette température est aisément soluble, de sorte qu'il n'est pas possible d'admettre son argumentation pour expliquer le phénomène de la prise apparente.

Deuxième point de transformation. Prise rapide.—On se trouve en présence d'un deuxième point de transformation, dès que le ciment dépasse légèrement la température de 200° ; le ciment acquiert alors nettement les propriétés des ciments à prise rapide (prise initiale en 6 minutes, prise finale en 10 minutes). Ce point coïncide lui aussi avec un point de transformation du gypse, lorsque l'on chauffe ce dernier. Quand on porte le gypse à une température voisine de 200° , il se transforme en sulfate anhydre de calcium (SO_4Ca); le sulfate anhydre qui se forme ainsi se trouve sous la forme bêta, et reprend son eau très lentement. Il semblerait que sous cette forme, le sulfate anhydre entre en solution trop lentement pour exercer une influence quelconque sur la prise du ciment, qui reprend la propriété qu'il avait naturellement, de faire prise rapidement.

Troisième point de transformation. Retour à la prise normale.—On se trouve en présence d'un troisième point de transformation, dès que le ciment atteint la température approximative de 500° ; le ciment se comporte de nouveau comme un ciment à prise normale (prise initiale en 95 minutes, prise finale en 200 minutes). Ce point coïncide à nouveau avec un point de transformation du gypse, quand on le chauffe. Porté à 500° environ, le gypse forme un sulfate anhydre de calcium, qui se dissout rapidement dans l'eau; il est par suite de nouveau à même d'exercer une influence retardatrice sur la prise du ciment, et ce dernier reprend la propriété de faire prise normalement.

En modifiant la teneur en gypse, en plus ou en moins, dans une proportion appréciable, les phénomènes observés seraient probablement différents, mais les variations de la composition chimique du ciment n'exerceraient probablement, à ce point de vue, qu'une influence minime (il ne s'agit dans cet article que de ciment Portland).

Il ressort de ces expériences que, sous la forme bêta (insoluble), le sulfate anhydre n'a aucune influence retardatrice sur la prise du ciment; étant donnée l'allure à laquelle se fait la prise rapide, il est en outre clair, selon toute probabilité, que, pour être efficace, l'agent retardateur doit pouvoir se dissoudre très rapidement. Le sulfate anhydre (forme alpha) et l'hydrate à une demi-molécule remplissent cette condition, ainsi que l'hydrate à deux molécules, mais à un degré moindre.

Si la théorie, qui dit que la recristallisation partielle du gypse déshydraté est la cause de la prise apparente du ciment, est juste, et il semble bien que ce soit la théorie la plus plausible qui ait été émise, il faut que le sulfate de calcium agisse avec la même efficacité, avant, pendant, et après sa cristallisation, ou qu'il reste à l'état dissous en quantité suffisante pour retarder la prise; dans ce dernier cas, il semble que la fraction dissoute ne pourrait être que très faible. La seule suggestion que je puisse faire, dans l'état actuel de nos connaissances, est que l'action du sulfate de calcium est en partie catalytique.

Les expériences dont il vient d'être question peuvent être reproduites dans les laboratoires d'usine, d'importance moyenne. Il faut veiller que le ciment soit bien porté en totalité aux températures minimum indiquées, et qu'il soit maintenu à ces températures pendant trente minutes, sinon on obtiendrait des résultats erronés, particulièrement dans la région du premier point de transformation. Il y a lieu de noter à ce sujet un phénomène très intéressant: s'il n'est pas chauffé assez longtemps, ou si sa température n'est pas suffisante, le ciment fait prise normalement, et ne présente ni prise apparente, ni prise

rapide. Cette anomalie expliquerait certains phénomènes discordants, observés par les chimistes des cimenteries des pays chauds. Comme explication éventuelle, je considère que le gypse est partiellement converti en sulfate anhydre, une fraction restant toutefois à l'état de plâtre; la quantité de plâtre n'est pas suffisante pour donner lieu à la prise apparente, mais elle l'est assez pour retarder la prise du ciment.

Pour faciliter la compréhension des notes qui précèdent, le lecteur aurait intérêt à se reporter aux deux articles de CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE que nous avons publiés sur le même sujet, et dont il a été question plus haut.

Les cimenteries de la Compagnie Wicking.

LES Etablissements Wicking pour la fabrication du ciment Portland et de la chaux hydraulique, dont le siège social est à Munster, en Westphalie, comprennent actuellement treize usines; une quatorzième, en construction sur les bords du Rhin, doit être mise prochainement en exploitation. La compagnie contrôle, en outre, la production d'un certain nombre d'autres usines, et possède le "Hoechster Werk," à Godelheim, usine actuellement arrêtée, dont le prorata est réparti entre les autres usines du syndicat. Cette concentration d'intérêts se traduit par ce fait que sur 34 compagnies indépendantes existant en Westphalie en 1915, il n'en subsiste que 24 en 1927.

La récapitulation ci-dessous donne la production des diverses usines de la Compagnie Wicking :

Usines.	Date de la création.	— Production journalière (tonnes). —	
		Première année d'existence.	Actuellement.
Westphalia ..	1884	75	450
Porta ...	1889	18-19	—
Lengerich I ...	1890	—	—
Lengerich II ...	1897	180	400
Friedrichshorst	1898	150	1000
Buren	1899	10	675
Mark	1899	180-200	550
Grimberg ...	1900	10	600
Union	1900	120	300
Horstkoetter ...	1907	240	450
Zollern	1908	136	340
Lengerich III ...	1911	—	—
Klasberg	1914	75	300

Usine Westphalia, à Beckum.—Ancienne usine à chaux, cet établissement a fusionné en 1919 avec la Porta-Union, et toutes deux sont entrées en 1921 en association avec les usines Wicking. Les matières premières, pierre calcaire dure et marne, sont extraites de la carrière au moyen d'excavateurs, et transportées par un chemin de fer à voie étroite. La station d'énergie comporte une chaudière de 12 atm, à tubes de fumée, et une machine à vapeur compound à condensation; l'usine est, en outre, reliée maintenant au réseau de distribution local à haute tension. La fabrication se fait suivant le procédé humide. Les matières premières sont fragmentées en premier lieu dans un concasseur Titan, et réduites finalement en boue dans des tubes broyeurs à boulets "Combinator." La boue est refoulée par pompage dans le four rotatif, et le clinker obtenu est acheminé par convoyeurs sur les silos métalliques, à vidange automatique. Le

clinker est moulu dans des broyeurs "Ergo"; ces derniers sont des tube-mills, type court, avec séparation par l'air. Le ciment est conservé dans des silos métalliques, équipés de dispositifs de vidange et de balances automatiques; le ciment peut être également chargé directement sur wagons, en attente sur un embranchement.

Usine Porta, à Porta, Westphalie.—Les matières premières proviennent des coteaux du Weser, et consistent en "muschel-Kalk," dans lequel sont intercalées des strates de ciment naturel et des dépôts d'argile. L'extraction en carrière se fait au moyen de perforatrices à air comprimé, et les matières fragmentées sont transportées à l'usine dans des wagonnets d'une contenance de 1,5 m³, halés par locomotive. L'énergie est produite par quatre chaudières Lancashire, de 120 m² de surface de chauffe chacune, et par deux machines à vapeur compound, à surchauffe, développant ensemble 2500 ch. La fabrication se fait suivant le procédé sec, et, avant d'arriver au silo à fragments grossiers, les matières sont soumises à l'action d'un concasseur "Titan"; de là elles sont séchées dans un séchoir rotatif, et écrasées dans des broyeurs "Solo," de la maison Polysius. La cuisson de la poudre crue est opérée dans quatre fours rotatifs; trois d'entre eux, ont 2 m de diamètre et 30 m de longueur, et le quatrième est un four "Solo" de la maison Polysius, de 74 m de longueur. Ce dernier four est relié à une cheminée en béton armé, qui a donné toute satisfaction. Pour la mouture du clinker, on emploie des broyeurs compound, ainsi que des broyeurs préparatoires et finisseurs combinés, système Krupp; la séparation se fait par air. Le ciment est conservé dans des silos en bois, à la sortie desquels il est mis en fûts ou en sacs, et expédié par voie de fer ou par le fleuve Weser, auquel l'usine est reliée par un téléphérique aérien.

Usine No. 1, à Lengerich.—Les matières premières proviennent de la partie ouest des monts, dits Teutoburger Wald, et appartiennent géologiquement à la formation supracrétacée, qui fournit à la fois la pierre calcaire et la marne. La roche est extraite au moyen de perforatrices à percussion à air comprimé et d'explosifs, ce qui permet d'appliquer le principe du travail en terrasse. La matière est fragmentée et mise sur wagons à la main, puis transportée à l'usine par un chemin de fer à voie étroite. L'énergie vient du dehors, sous forme de courant à 30 000 volts, abaissé sur place à 500 volts. Les matières premières sont écrasées à l'état humide dans des tube-broyeurs (fig. 1, page 1003), mélangées à l'air comprimé dans de grands bassins, et enfournées ensuite directement (fig. 2, page 1004). Le clinker est conservé dans de grands silos, et dirigé sur l'atelier de broyage pour ciment par des vis transporteuses. L'atelier de broyage comporte des broyeurs "Ergo," et trois broyeurs compartimentés. Le ciment est conservé dans de grands silos métalliques, pourvus de conduites pour la vidange, sur lesquelles on raccorde les ensacheuses et embarilleuses automatiques mobiles, de sorte que le ciment peut être prélevé à volonté sur l'un quelconque des silos. Des trucks spéciaux pour sacs amènent directement aux wagons à charger les matières déjà logées. L'usine possède sa propre fonderie.

Usine No. 2, à Lengerich.—Comme matières premières, l'usine utilise la pierre calcaire et la marne de la formation crétacée, extraites à la main dans des carrières à ciel ouvert, et qui lui parviennent par un téléphérique aérien. La station d'énergie comporte cinq chaudières Lancashire et deux machines à vapeur compound horizontales; l'usine est également raccordée au réseau à haute tension. Les matières premières sont fragmentées dans un concasseur "Titan," et écrasées dans des broyeurs "Ergo" avec séparation par l'air. La fabrication se fait suivant le procédé sec, après que les matières premières ont été conservées dans les silos. La cuisson s'opère dans des fours verticaux

automatiques, équipés de grilles Mannstaedt ou Thiele (à éléments respectivement tournants ou animés d'un mouvement alternatif). Le clinker est conservé sous un hangar de grandes dimensions; il est fragmenté d'abord dans un concasseur, et écrasé ensuite dans un broyeur Pfeiffer pour matières dures, ou un broyeur "Ergo," tous deux avec séparation par l'air. A la sortie des silos, le ciment est mis en sacs à l'aide d'ensacheuses, ou en fûts sur des plates-formes à secousses.

Usine Friedrichshorst, à Beckum.—La formation crétacée est très près de l'usine; l'extraction se fait au moyen de quatre excavateurs automatiques. Les trous pour explosifs sont forés à l'air comprimé. La station d'énergie comportait au début deux machines à vapeur de 300 et 600 ch, auxquelles on a adjoint une machine à équicourant de 2500 ch, et une machine compound de 1000 ch. La plus grande partie de la vapeur est fournie par une chaudière à chaleurs perdues, installée à la suite des fours, et par une chaudière aquatubulaire, chauffée au charbon pulvérisé; les machines sont alimentées à 15 atm. La plus grande partie de l'usine a été progressivement équipée de moteurs électriques individuels. Le courant alternatif est produit à l'usine; en cas d'arrêt accidentel de la station, il est fourni par le réseau.

L'équipement de préparation des matières premières comporte des broyeurs "Titan," des séchoirs rotatifs à contre-courant, chauffés par les gaz perdus des fours, une installation de captation électrique des poussières (fig. 3, page 1005), des broyeurs préparatoires, des broyeurs "Ergo" à séparation par l'air, et des broyeurs à compartiments multiples. L'installation comprend neuf fours verticaux automatiques, et deux fours rotatifs de 50 m de longueur et 2 m 80 de diamètre. Le clinker est conservé dans un bâtiment d'une contenance de 20 000 tonnes, la manutention se faisant partout mécaniquement. Le broyage se fait exclusivement dans des broyeurs à compartiments multiples, construits à l'usine même. Les silos en béton armé (fig. 4, page 1006) contiennent 12 000 tonnes de ciment; les transports de ciment se font au moyen de pompes Fuller-Kinyon (fig. 5, page 1007). Les ensacheuses, du type le plus récent, ont une production horaire de 200 sacs par opérateur. La figure 6 (page 1008) donne une vue générale de l'usine.

Usine de Buren.—Comme matières premières, l'usine emploie la marne et la pierre calcaire de la formation crétacée. Les roches sont transportées à l'usine par un téléférique aérien à câbles.

Les trous de mine sont forés à l'aide de perforatrices à percussion et de perforatrices rotatives. Primitivement, il existait deux chaudières Lancashire, avec une machine principale et une auxiliaire; par la suite, il a été ajouté deux autres chaudières, ainsi qu'une machine à vapeur principale. L'usine dispose également du courant électrique. La fabrication se fait suivant le procédé sec, à l'aide d'un matériel comportant des concasseurs, des broyeurs à meules, un séchoir "Cummer," des tubes broyeurs, et des broyeurs "Maxecon" à séparation par l'air. Les matières crues sont briquetées dans des presses Dorsten, et cuites dans des fours verticaux semi-automatiques, à grille tournante. Le clinker, dont la manutention se fait automatiquement, est entreposé dans le magasin à ciment, en tas de 10 m de hauteur. La mouture se fait dans des broyeurs compound, et l'atelier d'emballage est équipé de balances automatiques.

Usine Mark, au Nouveau Beckum.—Les matières premières employées à l'usine proviennent de l'étage sénonien supérieur; on utilise des excavateurs à vapeur, qui travaillent sur des terrasses faites antérieurement. Les matières sont transportées à l'usine dans des wagonnets d'une contenance de 2,5 m³, le halage se faisant par locomotive. L'énergie est fournie par le réseau à haute tension local, et le courant est abaissé à 500 volts par trois transformateurs de

1250 kVA. Les matières premières sont séchées dans deux séchoirs rotatifs de 24 m de longueur et 2 m de diamètre, chauffés aux chaleurs perdues provenant des fours rotatifs. L'atelier de broyage des matières premières comporte deux concasseurs "Titan" à huit marteaux chacun, et deux broyeurs compound Andreas, de 11 m de longueur et 2 m de diamètre. La poudre crue pour les fours rotatifs est contenue dans un silo à dix compartiments; le briquetage pour les fours verticaux est fait par cinq presses Polysius à double piston, et par une presse Dorsten. La cuisson s'opère dans des fours Dietzsch, et dans deux fours rotatifs de 60 m, à zone de scorification élargie. Le clinker obtenu aux fours verticaux est entreposé dans un hangar de 70 x 35 m, et transporté à l'atelier de mouture par un convoyeur à godets; le clinker obtenu aux fours rotatifs est conservé dans trois silos fermés, d'une contenance de 13 000 tonnes. Le clinker des fours rotatifs est moulu dans deux broyeurs compound, et celui des fours verticaux dans trois broyeurs préparatoires et cinq broyeurs à boulets. Le ciment est conservé dans un silo en béton armé de 1200 tonnes, et emballé au moyen d'ensacheuses automatiques duplex. Les barils sont remplis à l'aide de deux embarilleuses mobiles, le tassement du ciment dans les barils étant produit par des vis.

Usine Grimberg et Rosenstein, à Ennigerloh.—Comme matières premières, l'usine emploie la pierre calcaire et la marne de la formation crétacée. Les grands blocs de roche fournis par l'abatage à la poudre sont fragmentés et chargés en wagonnets basculants, halés aux usines par des locomotives. L'énergie est fournie par une chaudière Lancashire et une chaudière aquatubulaire, par trois machines à vapeur, et par un moteur Diesel. La fabrication se fait suivant le procédé sec, et les opérations de réduction se font au moyen de concasseurs, de broyeurs à cylindres, de tubes broyeurs, et de broyeurs compound. La poudre crue est conservée dans des silos, à partir desquels elle est enfournée dans cinq fours rotatifs, de 30 à 35 m. Le clinker est entreposé sous un hangar en béton armé de 15 m de hauteur; sa mouture s'opère dans des tubes broyeurs sans tamis, la séparation se faisant par l'air. L'ensachage se fait avec des balances automatiques, et l'embarillage au moyen d'embarilleuses automatiques, pourvues d'un mécanisme à secousses.

Usine Union, à Ennigerloh.—Cette usine consomme les mêmes matières premières que l'usine Grimberg et Rosenstein; l'extraction en carrière se fait à la main, et le transport jusqu'à l'usine par locomotive. La station d'énergie comporte quatre chaudières Lancashire (de 100 m² de surface de chauffe chacune), deux machines à vapeur à deux cylindres, et deux dynamos. La fabrication se fait suivant le procédé sec. La préparation de la poudre crue se fait au moyen d'un concasseur à marteaux "Titan," de deux séchoirs rotatifs, d'un broyeur préparatoire, et d'un tube broyeur à séparation par l'air; pour sa conservation, il est prévu trois silos. La cuisson est opérée dans trois fours rotatifs de 30 m, ayant 2 m de diamètre. Le clinker est entreposé dans un bâtiment de 8 m de hauteur, l'arrivée et le départ se faisant au moyen de convoyeurs en tunnel. La mouture du clinker est opérée dans deux tubes broyeurs Löhner et dans un équipement de broyage Krupp, comportant un broyeur préparatoire et un broyeur finisseur, aménagés pour la séparation par l'air. Le ciment est conservé dans six silos, à vidange par chaîne. La pesée des sacs se fait sur des machines "Libra."

Usine Horstkoetter et Illigens, à Beckum.—Les matières premières (pierre calcaire et marne) sont extraites au moyen d'excavateurs automatiques, et transportées à l'usine par un chemin de fer à voie étroite. L'énergie est produite par cinq chaudières à tubes de fumée, avec surchauffeurs, alimentant des

machines à vapeur compound, à condensation. L'usine est raccordée au réseau électrique. La fabrication se fait par le procédé sec. La préparation des matières premières est opérée par des concasseurs "Titan," des séchoirs rotatifs chauffés aux gaz perdus provenant des fours, des tubes broyeurs à boulets. Les silos mélangeurs pour matières crues sont en béton armé, construits suivant le système cellulaire. La poudre crue est enfournée par des vis mélangeuses, au passage desquelles elle est humidifiée. Les fours sont des fours rotatifs Polysius, à zone de scorification élargie. Le clinker est moulu dans de puissants broyeurs compound, et le ciment est conservé dans des accumulateurs en bois, équipés de dispositifs de vidange et de balances automatiques. Le chargement des wagons se fait à la main.

(A suivre.)

Maquette de cimenterie

DANS la salle d'exposition qui a été récemment ouverte au Vickers House, à Westminster, figure la maquette très complète d'une cimenterie. Cette maquette repose sur une table de 3 m 60 x 1 m 50; elle est établie à l'échelle d'environ 1/100^e, et constitue la reproduction en miniature d'une cimenterie de 250 000 tonnes par an, prévue de manière à pouvoir être agrandie ultérieurement. On a supposé que les gisements des matières premières se trouvaient à proximité, et que la situation de l'usine était idéale au point de vue moyens de transport, par route, par eau, et par fer. La maquette représente complètement un grand nombre de petits détails, tels que les conducteurs des paratonnerres, et le nœud du câble d'amarrage du chaland.

Comme le montre la figure (page 1026) la disposition de l'usine est ainsi conçue que les matières premières, la pierre calcaire, le gypse et le charbon, ainsi que le clinker, soient manutentionnés et distribués au moyen d'un pont roulant à benne preneuse. La machinerie comporte principalement deux fours de 114 m de longueur, pourvus de récupérateurs Vickers et chauffés au charbon pulvérisé, provenant d'un broyeur à balayage par l'air. A l'extrémité haute des fours se trouve un équipement de captation des poussières, pour l'épuration des gaz brûlés à la sortie des fours. Comme le demande la pratique moderne, les broyeurs humides et les broyeurs à ciment sont montés dans un même bâtiment; ces appareils sont à commande centrale. Depuis les broyeurs jusqu'au silos, le ciment fini de fabrication est convoyé par des moyens de transport pneumatiques.

Les différentes parties de l'équipement ont les dimensions principales suivantes: concasseur à mâchoires, 1 m 83 x 1 m 22; broyeur à marteaux, 1 m 52 x 0 m 66; broyeur humide à argile, 6 m de diamètre; broyeurs humides 2 m 13 x 12 m 20; broyeurs à ciment, 2 m 13 x 11 m; fours, 3 m 60 pour la zone du brûleur, 4 m 25 pour celle de décomposition, 3 m 10 pour le reste du tambour, et 114 m 30 de longueur.

Avis.

Tous les articles publiés en quelque langue que ce soit dans CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, sont rigoureusement de propriété littéraire, et ne peuvent être reproduits dans d'autres journaux, ou sous forme de catalogues, sans l'autorisation des propriétaires: Concrete Publications Limited, 20, Dartmouth Street, Westminster, Londres, S.W.1, Angleterre.

Étude comparative de l'industrie du ciment Portland aux Etats-Unis, au Canada, et en Angleterre.—VII.

Par HAL GUTTERIDGE.

Atelier de broyage.

Le broyage des matières premières et la mouture du clinker sont des opérations qui présentent de nombreux points communs; c'est pourquoi nous examinerons ces deux questions en même temps, tout en faisant ressortir les différences qu'elles présentent. Ces opérations consistent à prendre des matières d'une dimension maximum de 38 mm (1 pouce $\frac{1}{2}$), pour les réduire à la finesse requise; autrefois, elles s'effectuaient toujours en deux stades. Dans le premier, la matière était ramenée à l'état de grosses sablottes, et l'on faisait usage à cette fin d'un broyeur préparatoire, soit à boulets, soit d'un autre type; pour le second, où les matières étaient pulvérisées à leur état de finesse définitive, on adoptait généralement le tube broyeur. Le broyage bi-étagé, au moyen de broyeurs à boulets et de tubes broyeurs, n'est pas sans offrir certains inconvénients, particulièrement au point de vue du mécanisme de conduite, et de l'encombrement en plan; pour obvier à cette situation, on a imaginé le broyeur "compound," qui combine dans le même appareil le travail du broyeur à boulets, et celui du tube broyeur. La figure 1 (page 1011) représente un broyeur de ce type, monté dans les ateliers Vickers-Armstrong; très répandu, aussi bien pour le broyage des matières premières que pour celui du clinker, cet appareil comporte trois ou quatre compartiments. Le broyeur compound à tambour cylindrique a reçu un perfectionnement, qui consiste à l'élargir du côté de l'entrée des matières; on se rapproche ainsi davantage des conditions dans lesquelles fonctionnent les appareils élémentaires, car la vitesse des boulets, dans les broyeurs à boulets, est plus grande que dans les tubes broyeurs. Les broyeurs compound à extrémité amont élargie auraient, paraît-il, un meilleur rendement que les broyeurs à tambour cylindrique, et cette amélioration serait principalement due à ce que les boulets du compartiment préparatoire fournissent aux compartiments suivants des matières plus fines, et en plus grande quantité. Dans un broyeur ainsi construit, le tronçon conique, qui relie les deux tambours de diamètres différents, contribue dans une large mesure à la solidité de l'ensemble, avantage qui s'ajoute au meilleur travail des boulets dans le compartiment préparatoire. A l'extrémité d'entrée du premier compartiment, les boulets sont animés d'une plus grande vitesse qu'à son extrémité côté sortie, où leur vitesse est voisine de celle des boulets des compartiments finisseurs suivants, comme le demande la plus grande finesse des matières à l'extrémité aval de ce premier compartiment.

On objecte souvent, il est vrai, que l'amélioration de rendement obtenue avec les broyeurs à deux diamètres ne justifie pas la différence de prix qu'ils présentent par rapport aux broyeurs cylindriques, et que l'on peut arriver au même résultat en agissant sur le blindage. L'expérience seule permet de tirer le meilleur parti des broyeurs compound à trois ou quatre compartiments; pour chacun des compartiments successifs, elle indiquera comment le blindage doit être fait, et avec quel type de boulets il convient de le charger pour une matière donnée.

Broyage en circuit fermé.—Après concassage, les matières dures contiennent

toujours une fraction d'une finesse suffisante, soit pour ne nécessiter aucune réduction supplémentaire, soit pour ne demander qu'un complément de réduction pour arriver à la dimension requise. Dans le broyage en circuit ouvert, la totalité des matières passe par tous les étages de broyage, d'où consommation inutile d'énergie, accompagnée, pour une partie des matières, d'une réduction au delà de la finesse requise. On sait que les " fines " mélangées aux matières plus grossières exercent un effet amortisseur, qui ralentit d'une manière appréciable la cadence de la fragmentation. Dans le système en circuit fermé, on diminue cet effet amortisseur par l'extraction, à certains étages du broyage, de toutes les matières dont la dimension est inférieure à celle pour laquelle l'étage est prévu. Si leur finesse est déjà celle qu'elles devraient avoir à la sortie du broyeur, on ne les réintroduit pas dans le système pour une nouvelle fragmentation, que l'on leur fait par contre subir si leur finesse est inférieure à celle indiquée, en les retournant au système à un étage suivant. Pour l'obtention du ciment lui-même, et dans le seul but de brasser le mélange, on a l'habitude de renvoyer toutes les matières extraites au dernier étage de broyage, pour obtenir un produit plus homogène.

La bonne clinkérisation des matières crues dans le four implique certaines conditions, dont l'une des plus importantes, au point de vue physique, est la finesse régulière de ces matières. Si les matières crues que l'on enfourne sont composées de particules fines et grossières de toutes dimensions, la qualité du clinker s'en ressent, car les fines particules formeront des surcuits, et les grosses particules des incuits; on aura par suite grand bénéfice à ramener au minimum les écarts de finesse, par tous les moyens possibles. Le système en circuit fermé offre des facilités beaucoup plus grandes que le système en circuit ouvert pour réaliser un degré de réduction uniforme, et on peut l'employer, en outre, pour éliminer les particules ultra-fines. Le Bureau of Standards, de Washington, a confirmé récemment cette opinion, qu'il n'y avait aucun avantage à envoyer au tambour cuiseur des matières constituées en partie par des fines acceptées par le tamis de 14 000 mailles, de sorte que ce dernier point est d'importance.

En Angleterre, on a apprécié, dès 1910, les avantages de la mouture du clinker en circuit fermé, et un moulin à clinker de ce système a été installé à cette époque par Ernest Newell & Co. Le clinker était introduit dans le broyeur de la manière habituelle, et le produit acheminé sur un appareil classeur, disposé à un niveau supérieur, qui séparait la fraction d'un degré de finesse suffisant pour poursuivre sa route, le restant étant retourné au broyeur par l'arrivée du clinker, pour subir une nouvelle réduction. Ce broyeur était un appareil à compartiment unique; son action régularisante, et l'énergie relative économisée, étaient par suite limitées. Le perfectionnement de ce système, et son application aux broyeurs compound à trois ou quatre étages, ont permis d'obtenir d'une manière plus précise un produit de grosseur uniforme, en intercalant un séparateur à la suite de chaque étage.

La figure 2 (page 1012) est un schéma du système en circuit fermé, appliqué à un broyeur compound à quatre compartiments; ce schéma concerne le broyeur Allis-Chalmers, de construction américaine, représenté figure 3 (page 1013). On voit qu'à la sortie du premier étage, les particules sur-dimensionnées sont retournées sur l'arrivée des matières, et que la fraction acceptée par le tamis de 64 mailles quitte le broyeur pour être envoyée au séparateur No. 1. A la sortie de ce séparateur, les plus fines particules passent au séparateur No. 2, et les particules plus grossières vont au deuxième étage. La décharge du second étage va au séparateur No. 2, la fraction grossière est dirigée sur le

troisième étage. Le produit du troisième étage va directement au quatrième étage en vue de sa réduction finale, ainsi que les matières fines venant du séparateur No. 2, de sorte que toutes les matières subissent dans ce dernier étage une mouture en commun, qui en assure le brassage parfait.

Ces deux dernières années, le broyage en circuit fermé a reçu une vive impulsion, particulièrement en ce qui concerne les matières crues, broyées à sec; il est appliqué, soit aux broyeur compound compartimentés de grandes dimensions, soit aux broyeur préparatoires indépendants, dont il existe divers types. Dans la plupart des broyeur en circuit fermé fonctionnant à sec, les fines sont extraites par des séparateurs à air, mais dans quelques cas, on a installé des tamis vibrants dans le même but. Aux Etats-Unis, en 1930, les cimenteries qui ont adopté le broyage à sec des matières crues, avec classement par séparateurs à air, sont au nombre d'environ quatorze. Dans l'une d'elles, on a installé un broyeur à courant d'air, dispositif qui constitue l'une des formes du système en circuit fermé, et dans lequel un courant d'air balaye l'intérieur du broyeur, en emportant les matières ultra-fines et celles un peu plus grossières, qui sont ensuite séparées, la fraction grossière retournant au broyeur pour y subir une nouvelle réduction. Pour le broyage humide, les cimenteries qui appliquent le système en circuit fermé étaient, en 1930, au nombre de trois, dont deux, pour le classement à la sortie du compartiment préparatoire, avaient uniquement monté des tamis vibrants; à la troisième, on ajoutait de l'eau au dernier étage du broyeur pour améliorer son rendement, la boue étant partiellement déshydratée après broyage au moyen d'épaississeurs.

Comparativement aux Etats-Unis et au Canada, il ne se présente en Angleterre que de rares occasions d'employer le système en circuit fermé, car la plupart des matières y sont tendres, et peuvent être réduites à la finesse requise par le simple traitement au broyeur humide.

Répercussion sur l'entraînement des poussières par les gaz brûlés.—Quand on broie les matières premières en circuit fermé, la dépense d'énergie est moindre pour une production donnée, ou bien reste la même pour une production supérieure, et l'on obtient en outre un grain d'une grosseur plus régulière, ce qui améliore les conditions de cuisson; à ce bénéfice direct s'ajoute un avantage indirect, si l'on fait entrer en ligne de compte la quantité de poussières emportée hors du four.

Les poussières émises par un four rotatif consistent principalement en matières crues, non touchées par la cuisson, auxquelles s'ajoutent quelques matières calcinées, ainsi que des cendres si le four est chauffé au charbon. Les deux premières fractions, et plus particulièrement la première seule, sont en rapport direct avec la finesse des matières crues; plus est grande la proportion des matières ultra-fines, plus il y aura de poussières, car plus les particules de matières premières non cuites ou cuites partiellement sont légères, plus les gaz ont de facilité à les mobiliser et les emporter à l'extérieur. Toute méthode diminuant la quantité des très fines particules, ou les éliminant, se traduit par une régression dans la quantité des poussières. Le broyage en circuit fermé offre de plus grandes facilités à ce point de vue, et fournit le moyen de réduire cette quantité de poussières. Pour des matières crues données, il reste à déterminer dans quelle mesure, sans nuire à la qualité du ciment, on peut déplacer vers l'augmentation des particules la limite inférieure de finesse, d'autant plus que ce déplacement se traduit par une diminution des frais de préparation mécanique. Si, pour des matières crues données, on constate que la totalité ou la majeure partie des matières au dessous d'un degré de finesse

donné est emportée hors du four, il n'est certainement pas économique de laisser ces matières arriver au four, car elles occasionnent des pertes de chaleur et d'énergie, qui s'ajoutent aux frais de captation. Si le cas se présente, il serait préférable de séparer ces fines, à un étage de la préparation des matières crues, aussi près de l'amont que possible. Pour se rendre compte de la situation, on peut procéder à une analyse granulométrique des matières à l'enfournement, et procéder à la même opération sur les poussières captées; après avoir séparé à l'enfournement les particules acceptées par le tamis de 14 000 mailles, on refait les deux analyses. Si les matières enfournées contiennent par exemple 2,5% des matières acceptées par le tamis de 14 000 mailles, et que les poussières captées à la suite du four représentent 5% en poids des matières crues, dont la moitié est acceptée par le tamis de 14 000 mailles, il est plausible d'en déduire que, vraisemblablement, par l'élimination des fines ainsi définies, on supprimerait les poussières, ou on en diminuerait la quantité dans une forte proportion. Dans les poussières captées à la sortie d'un four à ciment, la proportion des fines acceptées par le tamis de 14 000 mailles peut être de 50% ou plus, et, si l'on éliminait les matières acceptées par le tamis de 14 000 mailles en appliquant le broyage en circuit fermé, la quantité de poussières pourrait être diminuée de moitié. Il est bien exact que ce ne sont pas les poussières les plus fines qui sont les plus nuisibles, car une brise légère suffit pour les entraîner beaucoup plus loin que les poussières plus grossières, mais leur élimination serait naturellement avantageuse, car la quantité de poussière se trouve ainsi diminuée. L'expérience montre qu'avec une cheminée de 60 m de hauteur, un vent de 16 Km/h entraîne à 4 Km les particules acceptées par le tamis de 14 000 mailles, et si elles sont deux fois plus petites, elles vont cinq fois plus loin. Au seul point de vue poussières, la question du broyage en circuit fermé mérite par suite d'être examinée avec la plus grande attention.

Une autre disposition avantageuse, qui englobe deux appareils différents, consiste à faire travailler un broyeur en circuit fermé, conjointement avec un système d'enfournement à pulvérisation. Avec ce système d'enfournement à pulvérisation, toutes les particules sortent de l'ajutage avec une vitesse qui leur est propre, et cheminent sur leur trajectoire à la rencontre des gaz chauds, qui les freinent et finalement les arrêtent. La vitesse initiale et la résistance à l'avancement étant toujours les mêmes pour les particules d'une dimension donnée, les particules des diverses grosseurs suivent une trajectoire particulière, qu'il est facile de calculer. Les deux facteurs qu'en pratique il n'est pas possible d'obtenir entièrement constants, sont le tirage (sujet à certaines fluctuations), et la dimension des particules (qui varie). Avec les ventilateurs de tirage induit, et surtout si le four comporte un refroidisseur multitubulaire, il est possible de maintenir les fluctuations du tirage dans d'étroites limites, mais, si le broyage se fait en circuit ouvert, les particules sont toujours de dimensions différentes.

A une vitesse initiale donnée, plus les particules sont grosses, plus elles ont de force vive, et par suite d'aptitude à surmonter une résistance donnée. En éliminant les plus petites particules avant enfournement, une plus grande fraction des matières restera dans le four. Le broyage en circuit fermé est tout indiqué pour satisfaire à cette condition, car la production des particules ultra-fines se trouve supprimée, et il semble que ce procédé doive faciliter l'application du système d'enfournement à pulvérisation, et contribuer à sa généralisation.

Mouture du clinker.—Les résultats que l'on s'efforce d'obtenir à la mouture du clinker, diffèrent totalement de ceux qu'implique le broyage des matières

premières. Si, dans ce dernier cas, il n'est pas avantageux de produire des particules ultra-fines, ces mêmes particules constituent le but essentiel de la mouture du clinker; par contre, qu'il s'agisse de la mouture des matières premières ou du clinker, il n'est jamais avantageux d'avoir des particules grossières. Quant à savoir s'il convenait d'appliquer le broyage en circuit fermé à la mouture du clinker, la question prête encore à discussion; avec la mouture en circuit ouvert, on obtient un mélange présentant tous les degrés de finesse jusqu'à la grosseur maximum, et l'on sait par expérience quelle est la qualité du ciment qui résulte de cet état de choses. La mouture en circuit fermé donne un produit plus régulier sous le rapport du degré de finesse donné, et notre incertitude provient de ce que nous ne savons pas encore si cette circonstance est avantageuse ou non pour le béton préparé avec un tel ciment.

L'effet amortisseur, dû aux matières, se trouvant pour ainsi dire supprimé avec le broyage en circuit fermé, au lieu d'être arrondies, les particules obtenues présentent des arêtes vives; elles offrent par suite une plus grande surface de contact, et donnent lieu à une réaction plus forte au moment de l'hydratation. En 1930, il a été installé aux États-Unis trois broyeurs en circuit fermé pour la mouture du clinker; les résultats obtenus serviront dans une large mesure à lever l'incertitude qui règne à ce sujet.

Séparateurs.—L'emploi des séparateurs, soit à air, soit à tamisage, a été discuté sous le titre "Préparation des matières premières" et dans d'autres articles de la présente série; nous croyons intéressant de passer ici une revue d'ensemble des applications de ces appareils en cimenterie. Avec les matières dures, et partant de l'extraction en carrière, les séparateurs peuvent trouver une première application entre le concasseur primaire et le concasseur secondaire; ils servent alors à dériver les fines par un pont établi entre l'entrée et la sortie du concasseur secondaire. Dans le procédé sec, on emploie les séparateurs à la sortie du séchoir, pour acheminer directement les fines sur le tube broyeur finisseur, sans les faire passer par le broyeur préparatoire. Plus loin, toujours pour les matières crues, on peut employer les séparateurs en circuit fermé avec le broyeur préparatoire et avec le broyeur finisseur, que ce dernier soit un tube broyeur ou un broyeur compound. Avec les matières tendres, la réduction des matières premières s'exécute entièrement dans des broyeurs humides, et la séparation s'opère immédiatement à la suite des broyeurs humides, qu'ils soient individuels ou conjugués. Dans le traitement mécanique du clinker, on peut utiliser les séparateurs en circuit fermé avec le broyeur préparatoire à clinker et le tube broyeur finisseur, et, également en circuit fermé, avec le broyeur compound.

Pour tirer le maximum de profits de l'investissement qu'ils représentent, il convient de choisir les séparateurs, au point de vue type, dimension et disposition, en se basant principalement sur les matières premières utilisées. Dans les usines existantes, le choix des séparateurs, et leur disposition, dépendent dans une large mesure des broyeurs employés, et du plan général de l'usine. Dans les usines neuves, il convient de tirer pleinement parti des séparateurs en les considérant comme faisant partie intégrante du processus normal de la fabrication, en vue de bénéficier de la réduction correspondante des frais d'exploitation.

La diminution des frais d'exploitation que fournit le tamisage intermédiaire dépend des conditions qui prévalent dans chaque usine en particulier, de sorte qu'il ne servirait à rien de donner des chiffres applicables à tous les cas. A titre d'indication, nous donnerons cependant figure 4 (page 1015) un exemple,

montrant les résultats obtenus au point de vue exploitation dans la préparation des matières premières, par une cimenterie de Pensylvanie, agencée par la Mining and Industrial Equipment Co., Ltd. Ces renseignements sont très intéressants, parce que les séparateurs ont été installés progressivement, et que les chiffres font ressortir l'amélioration produite, pour chaque nouvel appareil installé. Comme on le voit, dans le schéma No. 1, toute la circulation se fait en circuit ouvert et sans retours en amont; les broyeurs primaire et secondaire sont du type gyrotoire, et le broyage préparatoire est effectué au moyen de broyeurs à marteaux et de broyeurs à boulets. Dans le schéma No. 2, on a intercalé un tamis séparateur, grâce auquel les matières fines contournent le broyeur secondaire, ainsi qu'un tamis qui forme pont pour les broyeurs à boulets; en outre, les broyeurs à boulets ont été montés en circuit fermé. A la suite de ces modifications, la production en matières acceptées par le tamis de 6200 mailles a passé de 15 à 25,7 tonnes à l'heure; en outre, la production par kWh a passé de 0,765 à 1,67 tonne. En prenant comme production pour le schéma No. 1 la valeur 100, on obtient 218 pour le schéma No. 2.

Dans le schéma No. 3, les modifications ont porté sur l'installation d'un broyeur à cylindres, d'un broyeur à marteaux, et de deux broyeurs Hercules; toutes les opérations se font en circuit ouvert et sans retours en amont, et il en résulte une légère amélioration, mais seulement par rapport au schéma No. 1. Dans le schéma No. 4, le broyeur Hercules est monté en circuit fermé, et les résultats se rapprochent de ceux du schéma No. 2. Dans le schéma No. 5, on a introduit un tamis supplémentaire, à la sortie duquel les matières fines contournent le broyeur Hercules; il en résulte une amélioration marquée par rapport au plus avantageux des équipements précédents, c'est-à-dire le No. 2; la production passe à 239 contre 100 au début, et la quantité de matières acceptées par le tamis de 6200 mailles atteint 1,83 tonne par kWh. Par l'installation complémentaire d'un séparateur opérant en circuit fermé avec l'un des sept tubes broyeurs, la production par kWh a atteint 2,84 tonnes, et le débit a été porté à 371, contre 100 primitivement.

Par l'installation de nouveaux broyeurs, et l'emploi de séparateurs, le débit global est donc passé de 100 à 371, et la production par kWh de 0,765 à 2,84 tonnes. Il est également intéressant de noter, que sans changer les appareils de réduction (schémas 3 à 6), le seul emploi de séparateurs a fait passer la production horaire de 22,3 à 40 tonnes, tandis que l'énergie dépensée était ramenée de 24,9 à 14,1 kWh.

Conduite centrale.—Depuis un certain temps, on applique une méthode améliorée pour actionner les broyeurs compound. Auparavant, dans les trois pays considérés, on avait adopté sans exception la commande par roue formant ceinture, à denture droite, et pignon, mais, plus récemment, on a commencé à appliquer la conduite centrale; c'est le dispositif adopté en Angleterre par la plupart des cimenteries modernes. La figure 5 (page 1016) représente une conduite centrale, construite par la firme F. L. Smidth; cette disposition présente cet avantage, qu'étant complètement à l'abri des poussières abrasives, les roues dentées travaillent dans de bien meilleures conditions; les roues tournent en outre dans l'huile, et cette dernière, toujours en circulation, est continuellement filtrée et refroidie. Dans leur carter fermé, on peut maintenir les roues à une température constante, et il est ainsi possible de les faire engrener à fond avec un faible jeu; avec la commande par roue droite formant ceinture, les engrenages sont par contre directement exposés à la chaleur du four, et, par suite de l'impossibilité de les maintenir à une température donnée, il faut prévoir beaucoup de jeu pour tenir compte de la dilatation du four. De plus, la conduite

centrale se prête mieux à l'emploi général de paliers à rouleaux. Ces divers facteurs contribuent, chacun en ce qui le concerne, à l'augmentation de rendement que fournit la conduite centrale.

La figure 6 (page 1017) représente une conduite centrale, exécutée par Edgar Allen & Co., Ltd., et la figure 7 (page 1018) une conduite centrale de 500-875 ch, et de 750/121,5 t/mn, construite par The Power Plant Co. Cette dernière présente cette particularité intéressante, que c'est le même moteur qui assure le démarrage à petite vitesse, et la vitesse normale de travail. Pour le démarrage, après avoir dégagé l'embrayage de prise directe, on met en prise les engrenages de l'arbre de renvoi; quand le tambour a atteint la vitesse limite de démarrage, on engage l'embrayage de prise directe, et dès que la vitesse de travail est atteinte, l'arbre de renvoi se dégage automatiquement. Les engrenages sont hélicoïdaux simples, les dents ayant la faible inclinaison de 7,5 degrés; cette denture fournit une attaque progressive qu'il n'est pas possible de réaliser avec les engrenages droits, et l'angle est si petit que la poussée ne sort pas d'une limite admissible.

Aux Etats-Unis et au Canada, aux puissances élevées, on intercale fréquemment un embrayage magnétique, dans la transmission qui relie les moteurs synchrones aux broyeurs compound ou aux tubes broyeurs. On démarre le moteur à vide, et l'embrayage entre en action sur l'intervention de l'opérateur. Pour un appareil de dimensions courantes, la période d'accélération dure 50 secondes, pendant laquelle le moteur consomme un courant, de 50% supérieur à celui qu'il dépense à charge normale. La manœuvre des embrayages Cutler-Hammer est très simple; ils comportent un rhéostat à sept ou huit plots, actionné à la main. Les plots des résistances sont ainsi calculés, que le couple moteur de l'embrayage puisse varier dans la proportion de un à trois. Ce rhéostat est complété par des contrôleurs dépendant de relais d'intensité très sensibles, connectés au circuit principal du moteur; si l'intensité dépasse une valeur limite, l'excitation de l'embrayage se trouve diminuée, et le couple moteur est ramené à une valeur inférieure à celui du moteur, travaillant à pleine charge. Dès que l'intensité tombe, le circuit du relais se referme, l'embrayage est de nouveau parcouru par le courant correspondant à la pleine tension, jusqu'au moment où l'intensité du courant au moteur dépasse de nouveau la valeur qui déclenche le relais. On voit qu'ainsi le couple de l'embrayage varie entre deux limites, dont l'une dépend du réglage des relais.

Paliers à rouleaux.—L'application aux appareils rotatifs de grande puissance, tels que broyeurs et fours, des paliers à rouleaux à la place des paliers lisses, est la suite logique des recherches auxquelles on a procédé en vue d'améliorer le rendement pratique des cimenteries. Aussi bien aux Etats-Unis qu'en Angleterre, on a employé avec succès les paliers à rouleaux, tant avec les broyeurs, comme il est exposé plus loin, qu'avec les fours, application sur laquelle nous nous sommes étendus au No. VI de cette série d'articles, sous le titre "Fours."

Les paliers à rouleaux offrent de grands avantages sur les paliers lisses, principalement par suite de la diminution de l'énergie pour un travail utile donné, diminution qui peut être de l'ordre de 15 à 20%, ou même plus, si, outre les tourillons principaux, on monte également sur roulements à rouleaux le pignon à denture droite, que la commande se fasse par roue formant ceinture ou par conduite centrale. Les paliers à rouleaux ont, de plus, une durée beaucoup plus grande que les paliers lisses; ils consomment bien moins de lubrifiant que les paliers à coussinets lisses, l'économie étant de l'ordre de 70%.
Tenant compte, d'une part, du plus grand prix d'achat des paliers à rouleau,

et d'autre part des économies qu'ils procurent en marche, on peut admettre que la dépense supplémentaire qu'ils représentent est récupérée en trois ans.

Le rendement relativement faible des broyeurs est dû à ce qu'une fraction appréciable de l'énergie qu'ils consomment est convertie en chaleur, au lieu de l'être en travail utile, appliqué à la réduction des matières. Outre la perte qu'elle représente, cette chaleur présente l'inconvénient de rendre les matières, et particulièrement le clinker, plus difficiles à broyer, et de faire subir au broyeur une dilatation appréciable lorsqu'il est un fonctionnement. Cette dilatation, dans le sens axial, est de l'ordre de 20 mm pour un broyeur de 12 m, et il y a lieu de prendre des dispositions spéciales pour en tenir compte.

Avec les appareils légers à paliers lisses, supportés en deux points, comportant un tourillon central à chaque extrémité, pour tenir compte des augmentations et diminutions de longueur du broyeur, on n'applique généralement d'autre artifice que de prévoir un jeu suffisant, correspondant au maximum de dilatation dans le sens axial. Tant que la chaleur engendrée n'a pas porté le broyeur à sa température maximum, et par suite à sa longueur maximum, on se trouve ainsi dans cette situation, que la portée, sur une certaine longueur, est souillée par les matières moulées et abrasives, que l'air tient en suspension en plus ou moins grande quantité au même endroit. Pour obvier à ce défaut, on a imaginé un palier à rouleaux, ainsi conçu qu'il devient inutile de prévoir un jeu entre les deux paliers, quelles que soient les variations que puisse subir la longueur de l'appareil entre des limites données. La Skefko Ball Bearing Co. construit le palier, représente figure 8 (page 1019); ce palier à rouleaux se monte à l'extrémité opposée au mécanisme de conduite, et repose sur trois pièces en acier, formant couteaux, sur lesquelles se reporte à tout moment le déplacement axial, quelle que soit son importance, dû aux variations de température que subit le broyeur. Les pièces en acier sont en forme de V renversé, la base ayant une courbure, dont le rayon est égal à la hauteur normale du V, de sorte que, quelle que soit leur position entre des limites données, les pièces formant couteaux maintiennent l'arbre à la même hauteur. Comme il n'y a pas à prévoir de jeu axial, les paliers à rouleaux des deux extrémités sont montés à rotule, de sorte que chacun des rouleaux prend toujours sa pleine charge, quelle que soit la position du broyeur.

Ainsi que le représentent les figures 9 (page 1021) (dispositif Timken), et la figure 10 (page 1022) (dispositif Skefko), les broyeurs lourds sont supportés en trois points, c'est-à-dire que l'extrémité, côté commande, est portée par un palier à rouleaux, type à rotule, l'autre extrémité reposant sur des galets porteurs. Lorsque la longueur de l'appareil se modifie, c'est l'anneau de roulement qui entoure le tambour qui se déplace sur les galets. La Timken Roller Bearing Co. américaine, pour le palier côté commande, monte le cône emmanché serré sur le tourillon, la cuvette étant montée de son côté dans le corps de palier extérieur. Ce corps de palier est arrondi, et prend appui sur un socle qui comporte au même endroit une légère dénivellation, qui force les pièces assemblées à s'aligner spontanément. La figure 11 (page 1023) représente un palier Timken.

Une autre disposition, applicable aux broyeurs importants, pourvus de la conduite centrale, consiste à monter deux paliers à rouleaux aux deux extrémités du tourillon massif; pratiquement, et pour les très grands appareils, cette solution est plus économique que de monter un unique palier, capable de résister à la charge à lui seul. Il importe, dans ce cas, que la charge soit également répartie entre les deux paliers; dans ce but, on monte les corps des deux paliers sur un palonnier légèrement bombé vers le bas, en acier trempé, qualité roulements à billes. Dès qu'il se produit une différence de charge entre

les deux paliers, le palonnier bascule et rétablit l'équilibre; grâce à la propriété des paliers de s'aligner spontanément, la charge se répartit par moitié entre eux.

Les paliers à rouleaux demandent à être efficacement mis à l'abri des corps étrangers, ce à quoi on arrive en disposant de chaque côté une plaque, usinée de manière à former labyrinthe; ces plaques s'opposent aussi bien à l'entrée des poussières, qu'à la sortie du lubrifiant. La lubrification est obtenue par un système à circulation d'huile travaillant sous pression, et dont le circuit comprend un filtre à huile et un refroidisseur, de sorte que l'on est assuré d'avoir constamment une arrivée d'huile toujours propre. L'étanchéité du labyrinthe est réalisée au moyen d'une graisse spéciale.

A titre d'exemple, mentionnons l'application de paliers à rouleaux à un broyeur compound, dans une usine du sud de l'Angleterre; les deux galets porteurs ont été pourvus en 1927 de paliers "Skefko." Le poids total du broyeur, des corps broyeurs, et des matières, est de 60 tonnes, et la charge par palier de 13 500 Kg; le broyeur a 9 m 75 de longueur, et 2 m 15 de diamètre; les galets, disposés à 7 m du palier côté commande, ont 76 cm de diamètre, et 27,5 cm d'épaisseur.

Pour les Etats-Unis, citons une cimenterie de Pennsylvanie, équipée de broyeurs compound, montés sur paliers Timken. Ces appareils, destinés, l'un au broyage des matières crues, l'autre à la mouture du clinker, ont 2 m 90 de diamètre à l'extrémité élargie, et 2 m 45 de diamètre pour le reste du tambour; leur longueur est de 11 m 60, et ils sont actionnés chacun par un moteur de 1100 ch. Les deux broyeurs pèsent chacun 92 tonnes, et comportent une charge de 90 tonnes de corps broyeurs. Les deux galets porteurs, en tête de chaque broyeur, ont 1 m 22 de diamètre et 0 m 61 d'épaisseur; les roulements à rouleaux ont 406 mm d'alésage et 673 mm de diamètre extérieur; on estime que chaque roulement supporte approximativement une charge de 27 tonnes.

(A suivre.)

Les précédents articles de cette même série ont paru dans les numéros de Novembre 1930, Janvier, Février, Avril, Mai et Juillet, 1931.

L'Industrie Espagnole du Ciment en 1930.

LA Comission Asesora, qui règle en Espagne les relations entre le Gouvernement de la nouvelle République et l'Industrie du Ciment, a publié un second rapport relatif à l'activité de l'industrie du ciment en 1930. La production, la vente et la consommation du ciment sont exposées en détail. Un certain nombre de diagrammes en couleurs donnent une très claire représentation de la production, des exportations et importations de ciment des principaux pays du monde. Une carte d'Espagne montre la situation de toutes les cimenteries et indique les régions qui peuvent être alimentées par chacune d'elles, sans que le prix du transport de l'usine au lieu de destination dépasse 20 pesetas par tonne. Un tableau donne toutes les marques de fabrique des compagnies productrices de ciment en Espagne, et le rapport se termine par quelques photographies de travaux publics et de la nouvelle usine de Cordoue de la Compagnie "Asland."



Zementmehl.

VON DER ASSOCIATED PORTLAND CEMENT MANUFACTURERS, LTD.
GENORMTER LUFTSICHTER.

PORTLANDZEMENT besteht im wesentlichen aus Kalksilikaten und-aluminaten, die auf äusserste Feinheit gemahlen sind. Hochwertiger Zement ist beispielsweise gewöhnlich so fein gemahlen, dass nur $\frac{1}{2}\%$ zu grob ist, um ein Sieb von 4900 Maschen/qcm zu passieren, und es ist seit langem üblich, die Mahlfinheit zu berechnen und in der Folge den Wert eines Zements aus dem geringen Prozentsatz an Rückstand, welcher von solch einem Siebe zurückgehalten wird.

Wie jedoch mit allen gemahlenen Materialien schwanken die das Pulver ausmachenden Partikel hinsichtlich ihrer Grösse in einem verhältnismässig weitem Umfange, und die wahre physikalische Struktur des vorher erwähnten, feingemahlenen Zements kann sich wie folgt darstellen:

	%
Mehl	80,0
Teile, die das Sieb von 6400 Maschen/qcm passieren ...	18,5
Teile die das 4900-Sieb passieren und vom 6400-Sieb zurück- gehalten werden	1,0
Teile, die vom 4900-Sieb zurückgehalten werden	0,5
	<hr/> 100,0

Die erste Fraktion stellt die einzigen Partikel dar, die sofort hydraulisch aktiv sind, wenn sie mit Wasser angemacht werden. Obwohl die zweite Fraktion so fein ist, dass sie völlig ein Sieb von 6400 Maschen/qcm passiert, ist sie doch aus kleinen Griesteilen zusammengesetzt, die nach einiger Zeit zwar hydratisiert werden können, aber zur Festigkeit des Zements im frühen Alter nichts beitragen. Die Rückstände auf den Sieben von 6400 und 4900 Maschen/qcm sind nicht nur träge in ihrer Aktivität, sondern sie besitzen auch keinerlei Beziehung zu dem vorhandenen Mehl. Daher ist der Prozentsatz eines

Siebrückstandes kein Masstab der wahren Mahlfeinheit oder des Wertes des Zements als Baustoff.

Die Festigkeit von Portlandzement hängt stark von dem Anteil der feinsten Teile oder des Mehls ab, und die einzig rationelle Methode, den Grad der Mahlfeinheit zu beurteilen, beruht auf dem Anteil gegenwärtigen Mehls.

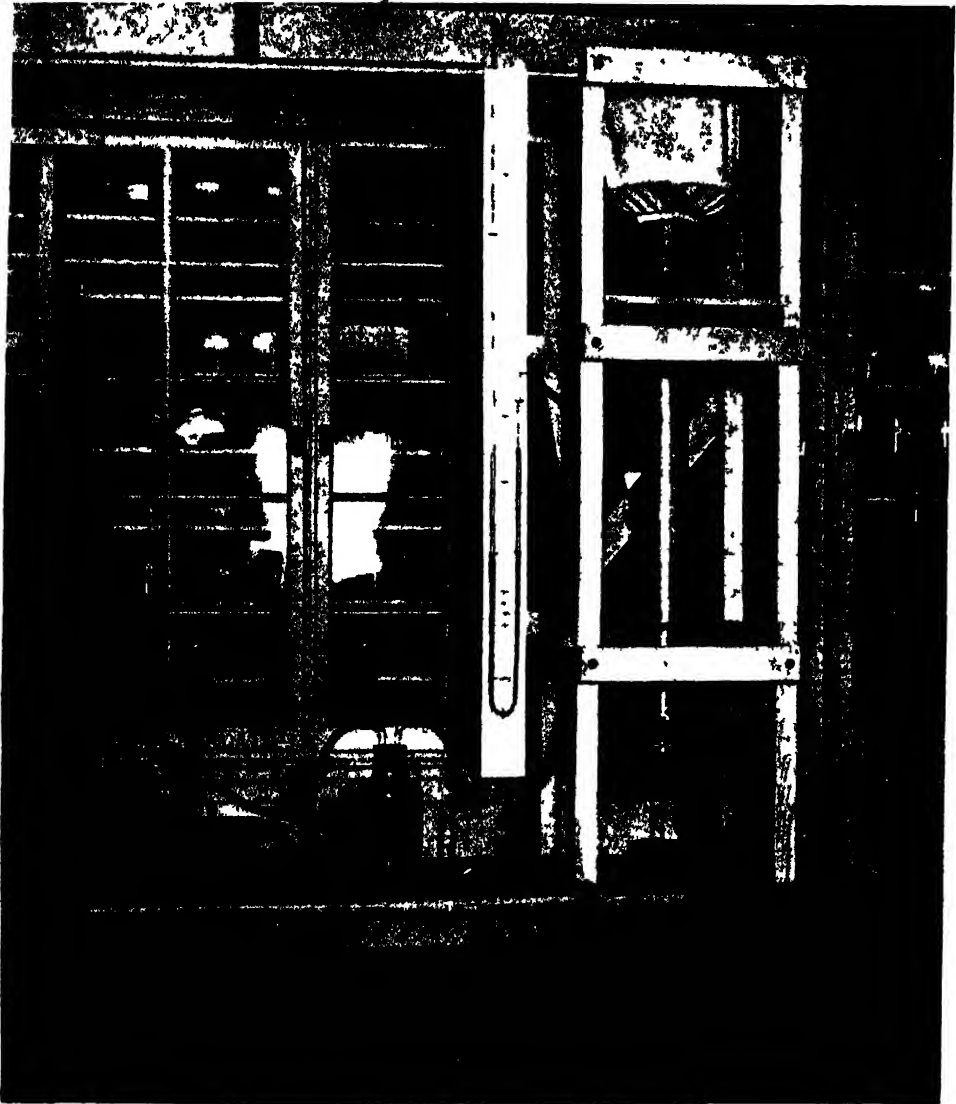


Abb. 1.

Verschiedene Apparate zur Bestimmung des Prozentsatzes an Mehl sind einige Jahre lang verwendet worden, doch sind sie sämtlich ganz willkürliche, und das „Mehl“ ist nicht das gleiche hinsichtlich Anteil und Korngrösse bei irgend zwei von ihnen. Viele dieser Apparate beruhen im Prinzip auf Luftlichtung der Teilchen, doch wird die durch einen Luftstrom hochgehobene

Materialmenge durch Grösse und Gewicht der Teilchen und durch die Luftgeschwindigkeit bestimmt. Da die erwähnten Apparate mit verschiedenen und im allgemeinen unbekannten Geschwindigkeiten arbeiten, ist der Mehlsatz lediglich der Anteil des Zements, der zufällig in der jeweilig verwendeten Apparatur gesichtet wird. Beispielsweise enthielt eine, unter gleichen Bedingungen mit zwei verschiedenen Mehlmessern geprüfte Zementprobe 79,5% Mehl bei der einen Apparatur und 71,0% bei der anderen.

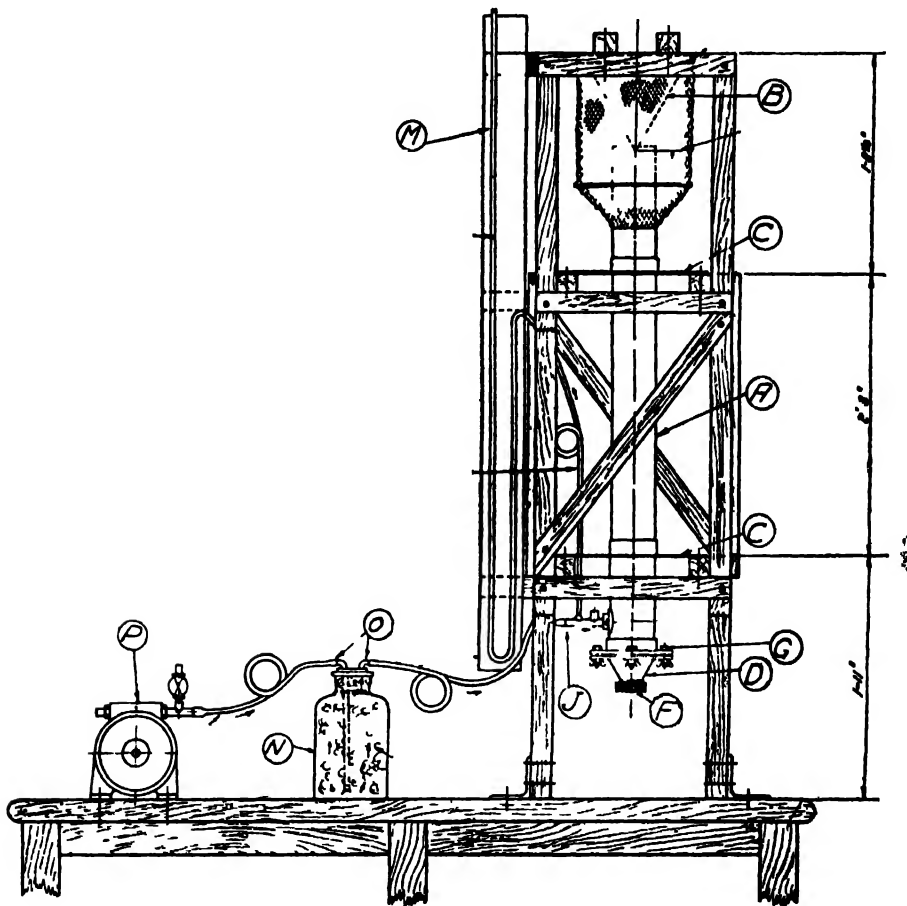


Abb. 2.

Die Associated Portland Cement Manufacturers Ltd. haben ein Normal-Zementmehl festgelegt, bei dem das Material mit einer festen Geschwindigkeit von 6,4 m in der Minute luftgesichtet wird. Der durchschnittliche Teilchendurchmesser dieses Normal-Zementmehls ist rund 0,01 mm und ist stets der gleiche, wenn mit einer Geschwindigkeit von 6,4 m in der Minute gesichtet wird. Die bei dieser Geschwindigkeit gesichtete Menge an Material ist ein direkter Massstab der Mahlfeinheit des Zements und teilweise seines hydraulischen Werts. Es können daher Zemente verschiedener Herkunft verglichen werden.

Der jetzt auf den Werken der Associated Portland Cement Manufacturers Ltd. in Gebrauch befindliche Normalsichter ist von dem Typ des Herunterblasens, indem die unter Druck befindliche Luft zur Spitze eines umgekehrten Kegels geblasen wird, wodurch die Teilchen aufgerührt und separiert werden, wie auch eine ständige, aufwärts gerichtete Geschwindigkeit im Sichtrohr aufrecht erhalten wird.

Die Apparatur besteht aus einem Messingrohr (A) von 1,22 m Länge und 10,2 cm lichtem Durchmesser, das am unteren Ende durch einen luftdicht,

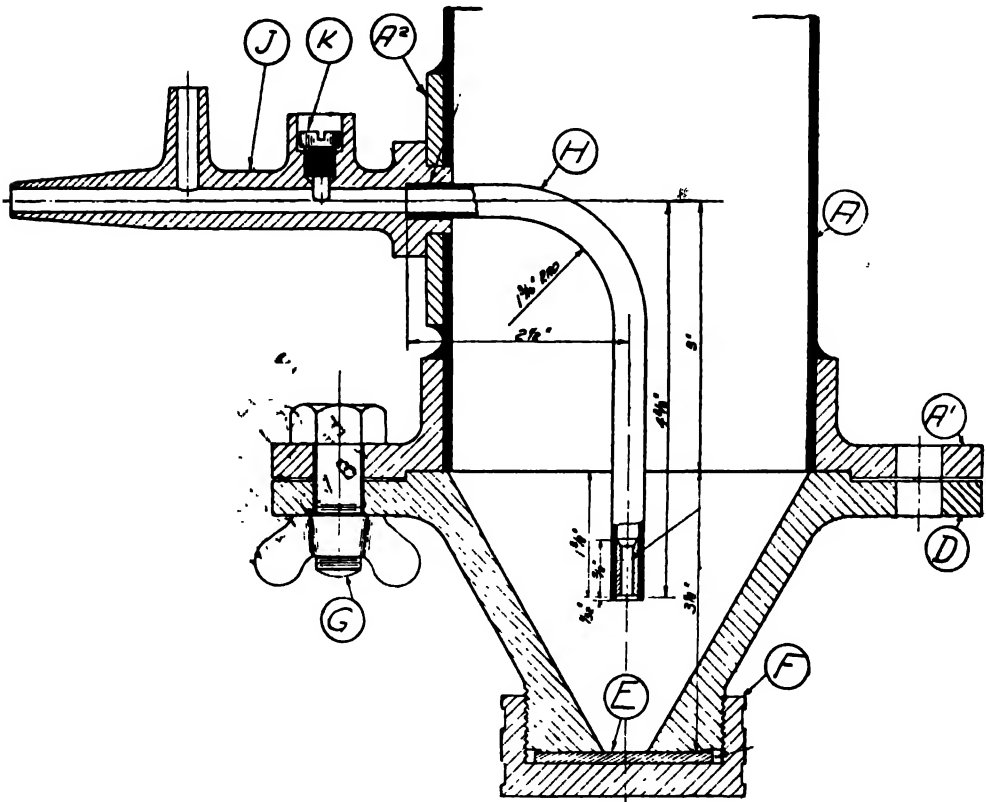


Abb. 3.

maschinell hergestellten Messingkegel (D) mit erneuerbarer Stahlplatte an der Spitze abgeschlossen ist. Das Rohr ist auf einem passenden Stativ montiert, besitzt ein Manometer und einen Ablenkkegel (B), dessen Spitze 0,635 cm in die Mündung des Rohrs (A) hineinragt. Der obere Rand dieses Kegels ist so geformt, dass er einen Flanellsack oder ein Filter hält, um den gesichteten Staub zurückzuhalten.

Luft wird in den Apparat durch einen kleinen Gebläsemotor (P), durch einen Oelverschluss (O) und eine Düse (J, H) geblasen, welche letztere in das Sichtrohr nahe am Boden eintritt, und die nach unten durch die Mitte des Rohrs verlaufend, gebogen ist und in einen 0,3 cm Durchmesser besitzenden Strahl innerhalb des Bodenkegels (D) endet. Das Lufteinlassrohr ist mit einem Rohransatz zur Anbringung des Manometers und einer einstellbaren Schraube (K) für Kalibrierzwecke ausgerüstet. Einmal eingestellt wird die Schraube

(K) hermetisch verschlossen und später nicht angerührt, es sei denn, dass Neueinstellung nötig wird.

Das Trommelgebläse ist mit einer Entlastungsöffnung versehen, die durch ein Drehventil reguliert werden kann, und deren Einstellung die Aufrechterhaltung eines konstanten Drucks im Manometer ermöglicht. Vorrichtungen sind getroffen, die es sichern, dass Düse und Strahl zentral im Sichtrohr und Kegel angeordnet sind.

Die Prüfung wird ausgeführt, indem man 33,3 g des zu untersuchenden Zements in den Bodenkegel bringt, der an das Sichtrohr mittels Flügelschrauben (G) sicher befestigt ist. Eine am Boden des Rohres angebrachte, maschinell ausgeführte Einkerbung macht einen luftdichten Abschluss ohne Verwendung von Gummi oder anderen Dichtungsringen möglich. Bei völlig offenem Entlastungsventil wird der Motor angestellt und das Ventil allmählich geschlossen, bis die Differenz im Niveau der beiden Säulen des Manometers 105,4 cm beträgt. Das Blasen bei diesem Druck wird 25 Minuten lang fortgesetzt, worauf der Motor abgestellt und der Kegel vom Rohr abgenommen werden. Der Rückstand im Kegel, der dunkelgefärbten reinen Gries, frei von Staub, darstellen soll, wird herausgebürstet und gewogen. Die Differenz zwischen diesem Gewicht und den zum Versuch genommenen 33,3 g Zement stellt das durch das Verfahren entfernte Mehlgewicht dar.

Wenn wir annehmen, dass der Druck mit 105,4 cm Wassersäule aufrechterhalten wird, so bleibt die Luftgeschwindigkeit im Sichtrohr 6,4 m in der Minute, bei welcher Geschwindigkeit Normalmehl übergeführt wird.

Einige Vorsichtsmassnahmen sind für genaues Arbeiten erforderlich.

(1) Die Prüfung soll in einem Raum mit ausreichend trockner Luft und gleichmässiger Temperatur erfolgen. Zementmehl besitzt eine grosse Affinität zur Feuchtigkeit und feuchte Luft kann die Ursache sein, dass das Mehl im Rohr stecken bleibt oder dass es das Filter verstopft. Wenn der Raum einmal warm und das andere Mal kalt ist, wird die Genauigkeit der Ergebnisse beeinflusst wegen der Schwankung des Luftvolumens im Sichtrohr.

(2) Das Mehl soll nicht lange in dem Flanellfilter bleiben. Das Filter sollte wenigstens einmal täglich geleert und ausgeschüttelt werden.

(3) Bei sehr feinem Zement, welcher 80% oder mehr Normalmehl enthält, ist es im allgemeinen ratsam das Rohr und den Kegel während des Prozesses gelegentlich leicht zu klopfen, um den Luftstrom zu unterstützen beim Aufrühren und Separieren der Teilchen. Es ist auch erforderlich, das Rohr vor Beginn einer Prüfung zu klopfen, um sicher zu sein, dass kein Mehl von einer vorhergehenden Untersuchung an ihm haftet.

(4) Es muss Sorge getragen werden, dass die Düse und Spitze nicht beschädigt oder aus der zentralen Stellung im Kegel entfernt werden.

Bei diesen Vorsichtsmassnahmen ist der Apparat in der Lage, Resultate von 0,5% und weniger Differenz zu geben in den Händen verschiedener Untersucher.

Notiz.

Sämtliche in CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE veröffentlichten Beiträge sind, gleich in welcher Sprache sie erscheinen, durch „Copyright“ geschützt und dürfen weder in anderen Zeitschriften noch in der Form von Katalogen ohne Erlaubnis des Eigentümers Concrete Publications, Ltd., Dartmouth Street, 20, Westminster, London (England) nachgedruckt werden.

Die Bedeutung der chemischen Analyse zur Ermittlung der rationellen Zusammensetzung des Portlandzementes.

Von O. Fr. HONUS.

DIE rationelle Analyse gibt Aufschluss über die Verteilung der einzelnen Hydraulikkomponenten im Portlandzement. Nach dem Grad der Verteilung der Bestandteile können Schlüsse auf die Güte und Eigenschaften des Portlandzementes gezogen werden. Wie wichtig die chemische Analyse zur Ermittlung der rationellen Zusammensetzung des Portlandzementes ist, soll an nachstehenden Beispielen erläutert werden.

Beispiel 1.—Ein Portlandzement hat folgende chemische Zusammensetzung: 65,20% CaO, 2,20% MgO, 21,40% SiO₂, 6,20% Al₂O₃ und 3,40% Fe₂O₃. Es wird angenommen, dass die Gesamtkieselsäure gebunden und kein freier Kalk vorliegt. Unter Zugrundelegung dieser Annahme ergibt sich zunächst in Mole gerechnet:

$$\begin{array}{ll}
 \text{für CaO} & \frac{65,20}{56,07} = 1,1529 \text{ Mol. CaO} \\
 \text{für MgO} & \frac{2,20}{40,32} = 0,05458 \text{ Mol. MgO} \\
 \text{für SiO}_2 & \frac{21,40}{60,06} = 0,3563 \text{ Mol. SiO}_2 \\
 \text{für Al}_2\text{O}_3 & \frac{6,20}{101,94} = 0,06082 \text{ Mol. Al}_2\text{O}_3 \\
 \text{für Fe}_2\text{O}_3 & \frac{3,40}{159,68} = 0,021292 \text{ Mol. Fe}_2\text{O}_3
 \end{array}$$

Der weitere Gang der Berechnung wird so durchgeführt, dass eine Tabelle angelegt wird (Tabelle I, Seite 992) und in die erste Zeile die Einzelbestandteile, in die zweite Zeile die Mengen dieser in Moll. eingetragen werden.

Die Berechnung gestaltet sich wie folgt: Das Eisenoxyd findet sich unter den beim Brennen von Portlandzement gegebenen Bedingungen im Zement als Dicalciumferrit (2CaO.Fe₂O₃). Die Formel besagt zugleich, dass 1 Mol. Dicalciumferrit aus 1 Mol. Fe₂O₃ und 2 Mol. CaO besteht. Es entsprechen also 0,021292 Mol. Fe₂O₃, 0,021292 Mol. 2CaO.Fe₂O₃ und 0,021292.2 = 0,042584 Mol. CaO. Es wurden diese Zahlen in die Tabelle eingetragen.

Die Tonerde findet sich im Portlandzement als Tricalciumaluminat 3CaO.Al₂O₃. 1 Mol. Tricalciumaluminat besteht aus 1 Mol. Al₂O₃ und 3 Mol. CaO. 0,06082 Mol. Al₂O₃ entsprechen 0,06082 Mol. 3CaO.Al₂O₃ und 0,06082.3 = 0,18246 Mol. CaO. Diese Werte werden in die Tabelle eingetragen.

In tonerdereichen Portlandzementen, die mehr als 10% Al₂O₃ enthalten, findet sich die Tonerde mit dem Eisenoxyd zusammen als Tetracalcium-Ferri-Aluminat (4CaO.Fe₂O₃.Al₂O₃) und muss diese Verbindung bei solchen Zementen in Rechnung gezogen werden.

Das Magnesiumoxyd wird im Portlandzement als Dimagnesiumsilicat 2MgO.SiO₂ angenommen. 1 Mol. 2MgO.SiO₂ besteht aus 2 Mol. MgO und 1 Mol. SiO₂. Es entsprechen 0,05458 Mol. MgO, 0,02729 Mol. 2MgO.SiO₂ und 0,02729 Mol. SiO₂. Die Eintragung dieser Werte erfolgt wie beim Eisen- und Aluminiumoxyd.

Jetzt werden die 0,042584 Mol. CaO vom $2\text{CaO.Fe}_2\text{O}_3$, plus 0,18246 Mol. CaO vom $3\text{CaO.Al}_2\text{O}_3$, vom Gesamt CaO und 0,02729 Mol. SiO_2 vom 2MgO.SiO_2 , von der Gesamtkieselsäure in Abzug gebracht und wir erhalten: 0,927856 Mol. CaO und 0,329010 Mol. SiO_2 , die sich als Di- und Tricalciumsilicat im Portlandzement vorfinden.

Die Berechnung dieser 2 Komponenten gestaltet sich wie folgt: Wir gehen zunächst von der Kieselsäure aus und nehmen an, dass sich die Kieselsäure auf Di- und Tricalciumsilicat zur Hälfte verteilt. Es ergeben sich:

$$0,329010 \text{ Mol. SiO}_2 : 2 = 0,164505 \text{ Mol. SiO}_2 \text{ für } 2\text{CaO.SiO}_2 \\ \text{und } 0,164505 \text{ Mol. SiO}_2 \text{ für } 3\text{CaO.SiO}_2.$$

$$\text{Diese entsprechen: } 0,329010 \text{ Mol. CaO für } 2\text{CaO.SiO}_2 \\ \text{und } 0,493515 \text{ Mol. CaO für } 3\text{CaO.SiO}_2$$

$$0,822525 \text{ Mol. CaO}$$

und wir erhalten 0,822525 Mol. CaO. Der Differenzkalk beträgt 0,927856 Mol. CaO. Unter der Annahme, dass wie bereits erwähnt kein freier CaO vorliegt, findet sich der Restkalk als Tricalciumsilicat gebunden vor und wir erhalten 0,105331 Mol. CaO als Restkalk. Dieser muss von der Kieselsäure des Dicalciumsilicates abgezogen und zur Kieselsäure des Tricalciumsilicates zugeschlagen werden und findet man:

$$0,164505 - 0,105331 = 0,059174 \text{ SiO}_2 \text{ als } 2\text{CaO.SiO}_2 = 0,118348 \text{ CaO als } 2\text{CaO.SiO}_2$$

und

$$0,164505 + 0,105331 = 0,269836 \text{ SiO}_2 \text{ als } 3\text{CaO.SiO}_2 = 0,809508 \text{ CaO als } 3\text{CaO.SiO}_2.$$

Für Dicalciumsilicat wurde 0,059174 Mol. gefunden, und für Tricalciumsilicat 0,269836 Mol. Setzt man diese Werte in die Tabelle ein und subtrahiert sie vom Differenzkalk und der Differenzkieselsäure, so erhält man Null CaO und Null SiO_2 .

In Prozenten ausgedrückt erhält man für die einzelnen Verbindungen:

$2\text{CaO.Fe}_2\text{O}_3$:	0,021292 Mol	. 271,82 = 5,80%
$3\text{CaO.Al}_2\text{O}_3$:	0,06082 Mol	. 270,15 = 16,40%
2MgO.SiO_2 :	0,02729 Mol	. 140,70 = 3,83%
2CaO.SiO_2 :	0,059174 Mol.	. 172,20 = 10,20%
3CaO.SiO_2 :	0,269836 Mol.	. 228,27 = 61,67%

Gegen das Ergebnis nach der soeben geschilderten Methode wäre nichts einzuwenden, wenn die Analyse einwandfrei wäre. Es fehlt die Bestimmung von etwa vorhandenen SO_3 , der Alkalien, des Glühverlustes, der sich aus CO_2 , H_2O , und vielleicht auch aus zum Teil von Spuren unverbrannten Brennstoffes herrühren kann, ferner fehlt die Bestimmung der löslichen Kieselsäure, die zugleich die an Kalk gebundene Kieselsäure darstellt und die Bestimmung der unlöslichen Kieselsäure, die zugleich die ungebundene Kieselsäure darstellt, sowie endlich die Bestimmung des freien Kalkes. Das Resultat der obigen Rechnung stellt somit rohe Ziffern dar.

Beispiel 2.—Im *Beispiel 2* soll auf die Elementaranalyse desselben Zementes Rücksicht genommen werden. Die Zusammensetzung desselben Zementes ist folgende:

CaO ...	...	65,20%	64,05% gebundenes CaO
			1,15% freies CaO
MgO ...	...	2,20%	
SiO ₂ ...	...	21,40%	21,04% gebundenes SiO ₂
			0,36% freies SiO ₂

Al ₂ O ₃	...	6,20%
Fe ₂ O ₃	...	3,40%
SO ₃	...	0,40%
K ₂ O	...	0,40%
Na ₂ O	...	0,40%
CO ₂	...	0,40%

Das Ergebnis der Rechnung ist in Tabelle I berücksichtigt. Zu bemerken wäre zur Tabelle II (siehe Seite 995) folgendes: Die Mole an CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ sind gegenüber Tabelle I unverändert geblieben. Neu hinzugekommen sind:

$$\begin{aligned} \text{SO}_3 &= \frac{0,40}{80,07} = 0,004995 \text{ Mol. SO}_3 \\ \text{K}_2\text{O} &= \frac{0,40}{94,20} = 0,004246 \text{ Mol. K}_2\text{O} \\ \text{Na}_2\text{O} &= \frac{0,40}{62,00} = 0,006460 \text{ Mol. Na}_2\text{O} \\ \text{CO}_2 &= \frac{0,40}{44,00} = 0,009090 \text{ Mol. CO}_2 \end{aligned}$$

Das SO₃ findet sich im Portlandzement an Kalk gebunden als CaSO₄ (1 Mol. CaSO₄ = 1 Mol. CaO + 1 Mol. SO₃). 0,004995 Mol. SO₃ entsprechen 0,004995 Mol. CaSO₄ und 0,004995 Mol. CaO.

Unter der Annahme, dass die Alkalien als Glasbildner betrachtet werden können, ist es zweckmässig, dieselben als Glass von der Zusammensetzung 3SiO₂.Na₂O.CaO und 3SiO₂.K₂O.CaO in die Rechnung einzuführen. Für Na₂O erhält man 0,00646 Mol., diese entsprechen 0,00646 Mol. 3SiO₂.Na₂O.CaO, 0,00646 Mol. CaO und 0,01938 Mol. SiO₂. Für K₂O erhält man 0,004246 Mol., diese entsprechen 0,004246 Mol. 3SiO₂.K₂O.CaO, 0,004246 Mol. CaO und 0,012738 Mol. SiO₂.

Nach Abzug der Teilkalke vom Gesamtkalk und der Teilkieselsäuren von der Gesamtkieselsäure mit Berücksichtigung des freien Kalkes und der freien Kieselsäure erhält man 0,872465 Mol. CaO und 0,290892 Mol. SiO₂ als Differenz, die sich als Di- und Tricalciumsilicat vorfinden. Man sieht dass das Verhältnis von CaO:SiO₂ nahezu 3:1 ist, und daher zum Grossteil aus Tricalciumsilicat besteht.

Es wurde weiter wie bei Beispiel I der Berechnung verfahren:

$$\begin{aligned} 0,290892 : 2 &= 0,145446 \text{ Mol. SiO}_2 \text{ als } 2\text{CaO.SiO}_2 = 0,290892 \text{ CaO} \\ 0,145446 \text{ Mol. SiO}_2 &\text{ als } 3\text{CaO.SiO}_2 = 0,436338 \text{ CaO} \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{0,727230}}$$

$$\begin{aligned} \text{Differenzkalk } 0,872465 \text{ Mol.} - 0,727230 &= 0,145235 \text{ Mol.} \\ 0,145446 \text{ Mol.} - 0,145235 &= 0,000211 \text{ Mol. SiO}_2 \text{ als } 2\text{CaO.SiO}_2 \\ \text{und } 0,145446 + 0,145235 &= 0,290681 \text{ Mol. SiO}_2 \text{ als } 3\text{CaO.SiO}_2 \\ 0,000211 \text{ Mol. SiO}_2 \cdot 2 &= 0,000422 \text{ Mol. CaO als } 2\text{CaO.SiO}_2 \\ 0,290681 \text{ Mol. SiO}_2 \cdot 3 &= 0,872043 \text{ Mol. CaO als } 3\text{CaO.SiO}_2 \end{aligned}$$

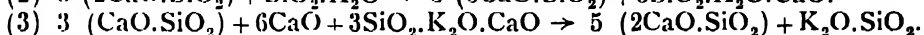
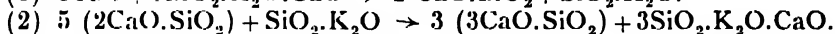
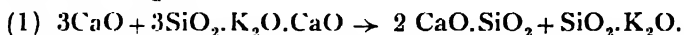
Nach Einsetzen der Werte für Di- und Tricalciumsilicat erhält man 0,000211 Mol. 2CaO.SiO₂ und 0,290681 Mol. 3CaO.SiO₂, sowie Null CaO und Null SiO₂.

In Prozenten ausgedrückt ergibt sich:

• Für CaCO ₃	...	0,00909	x	100	...	0,91%
„ 3SiO ₂ .Na ₂ O.CaO		0,00646	x	298,25	...	1,93%
„ 3SiO ₂ .K ₂ O.CaO		0,004246	x	330,45	...	1,40%

Für CaSO_4 ...	...	0,004995	x	136,14	..	0,69%
„ $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ...	...	0,021292	x	271,82	...	5,79%
„ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ...	...	0,60682	x	270,15	...	16,52%
„ freien CaO} ...	...	0,0206	x	56,07	...	1,15%
„ $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ...	...	0,02729	x	140,70	...	3,84%
„ freie SiO_2 ...	...	0,00600	x	60,06	...	0,36%
„ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ...	...	0,000211	x	172,20	..	0,36%
„ $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ...	...	0,290681	x	228,27	...	66,40%

Aus Beispiel 2 ist zu entnehmen, dass sich durch Einführung der Alkalien der Tricalciumgehalt erhöht hat (ca. 4%) und dass der Dicalciumsilicatgehalt nahezu um 10% vermindert wurde. Die Alkalien fördern die Tricalciumsilicatbildung und zwar in dem Masse, als sie einen Grossteil der Kieselsäure für sich zur Glasbildung verbrauchen. Man könnte auch annehmen, dass das Glas katalytische Wirkungen hervorruft, die bis zu einem bestimmten Grade zunächst die Dicalciumsilicatbildung fördert und nach erreichtem Gleichgewicht unter Rückverwandlung die Tricalciumsilicatbildung fördert, also doppelt katalytisch wirksam ist. Man kann diese Annahme etwa durch folgende Gleichungen zum Ausdruck bringen:



Im Anschluss an das vorstehende, soll die Wertung der rationellen Analyse für die Beurteilung von technischen Portlandzementen herangezogen werden, insbesondere aber, um zu sehen, inwieweit sich Schlüsse auf die Druckfestigkeiten ziehen lassen. Zu diesem Zwecke wurden 11 Zemente, die im Institut für Silicatforschung in Brünn von O. Kallauner¹ und dessen Mitarbeiter J. Šimánek, S. Seidl, I. Alejnikow chemisch untersucht und von S. Skoumal die mechanischen Normenprüfungen ausgeführt worden waren, für die Berechnung der rationellen Zusammensetzung herangezogen. Zu bemerken ist, dass Alkalien und freier Kalk nicht bestimmt worden waren und daher bei der Berechnung der rationellen Zusammensetzung nicht Berücksichtigung finden konnten.

Die chemischen Analysen der 11 Zemente, deren hydraul. Modul, deren Silicatmodul, dessen Siebrückstand auf 4900-Maschensieb und die Druckfestigkeit (1:3 Zement: Sand) nach 2, 7 und 28 Tagen Wasserlagerung, sowie 28 Tagen kombinierter Lagerung sind in Tabelle III (Seite 997) enthalten.

Die errechnete rationelle Zusammensetzung dieser 11 Zemente ist in Tabelle IV (Seite 998) ersichtlich. In Abb. 1 (Seite 999) sind die 2, 7, 28 Tage Wasserlagerung-Festigkeiten, sowie die, der 28 Tage kombinierten Lagerung entsprechenden Festigkeiten, und der den Zementen entsprechend errechnete Tricalciumsilicatgehalt eingetragen. Unterhalb dieser befindet sich der Siebrückstand graphisch dargestellt.

Der Abb. 1 ist zunächst zu entnehmen, dass bei Zement 2 trotz Steigen des Tricalciumsilicatgehaltes die Festigkeit kleiner ist, als bei Zement 1. Dieser Festigkeitsabfall dürfte hier darauf zurückzuführen sein, dass der grobe Anteil, der um ca. 10% mehr ausmacht, nicht vollständig hydratisiert wird und sich an der Erhärtung nicht beteiligt. Zement 3 nimmt entsprechend dem steigenden Tricalciumsilicatgehalt wieder an Festigkeit zu. Zement 4 weist wieder einen Festigkeitsabfall auf, der zum Teil auf den groben Anteil von ca. 10% zurückzuführen ist, zum Teil durch den geringen Gehalt von Tricalcium-

¹ O. Kallauner, Chemische Zusammensetzung und Normeneigenschaften inländischer Zemente, Stavivo Nr. 6, S. 147 u. Nr. 7, S. 185, 1929.

aluminat und den hohen Dicalciumsilicatgehalt, der als Schwächungsmittel angesehen werden kann, begründet erscheint. Zement 5 weist wieder eine Festigkeitssteigerung, entsprechend dem steigenden Tricalciumsilicatgehalt auf. Bei Zement 6 fällt wieder die Festigkeit, trotz Steigen des Tricalciumsilicatgehaltes. Für die Klärung des Festigkeitsabfalles dieses Zementes kann kaum der hohe Gipsgehalt 3,87% in Betracht gezogen werden, obwohl es nicht ausgeschlossen ist, dass sich dieser bis zu einem gewissen Grade an der Verlangsamung der Festigkeitssteigerung beteiligen kann. Vielleicht ist freier Kalk vorhanden, der nicht berücksichtigt wurde. Zement 7 zeigt wieder einen Festigkeitsabfall an, der zum Teil auf den groben Anteil (10%-4900-Maschen-sieb), teilweise auf den erhöhten Dicalciumsilicatgehalt als Verdünnungsmittel und dem verringerten Gehalt von Tricalciumaluminat, zurückzuführen sein dürfte. Zement 8 hat zwar eine Festigkeitssteigerung 55 kg/cm² gegenüber Zement 5 bei Wasserlagerung zu verzeichnen, bei gemischter Lagerung jedoch eine Verringerung von 11 kg. Die Ursache der Variation dürfte in dem wechselnden Verhältnis von $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 : 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ und in dem Siebrückstand, der um 1% höher ist, als bei Zement 5 (5% gegen 6%) zu finden sein. Zemente 9 und 10 weisen entsprechend der Steigerung des Tricalciumsilicates eine Steigerung der Festigkeit auf. Zement 11 hat einen kleinen Festigkeitsabfall nach 28 Tagen gemischter Lagerung zu verzeichnen, der auf den etwas erhöhten Siebrückstand und den etwas geringeren Tricalciumaluminatgehalt zurückzuführen sein dürfte, obwohl er bei Wasserlagerung um 30 kg/cm² mehr aufweist als Zement 10. Es ist hier dieselbe Erscheinung, die bei den Zementen 5 und 8 auftritt.

Die Annahme, dass mit steigendem Tricalciumsilicatgehalt die Druckfestigkeiten steigen, wird bei 28 Tagen gemischter Lagerung von den 11 technischen Zementen durch 6 Zemente; bei 28 Tagen Wasserlagerung durch 7 Zemente bestätigt. Grössere Siebrückstände haben grössere Festigkeitsabnahmen zur Folge, was an 3 Zementen bestätigt werden konnte.

Resumé.

(1) Die rationelle Analyse kann zur Beurteilung von Portlandzementen herangezogen werden.

(2) Zur Berechnung der rationellen Analyse ist eine Elementaranalyse erforderlich, die alle Bestandteile des Zementes erfasst. Es werden in der chemischen Analyse also folgende Bestandteile zu suchen sein: Gebundene SiO_2 , freie SiO_2 , gebundener Kalk, freier Kalk, Schwefeltrioxyd, Sulfidschwefel, erforderlichenfalls SO_2 , ferner CO_2 , MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O und Na_2O . Da das K_2O und Na_2O als Glasbildner betrachtet werden können, ist es zweckmässig, dieselben als Glas in die rationelle Analyse einzuführen.

(3) Von grosser Wichtigkeit für die Beurteilung eines Portlandzementes aus der rationellen Zusammensetzung ist der Siebrückstand, der in Erwägung gezogen werden muss, sowie das Verhältnis von $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 : 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 : 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ und das Verhältnis: $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 : 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.

(4) Es ist nicht ausgeschlossen, dass sich unter Zugrundelegung der rationellen Zusammensetzung von Portlandzement bei exakten Forschungsarbeiten zur Klärung der Abhängigkeit und Beeinflussung des Tricalciumsilicates durch Dicalciumsilicat und Tricalciumaluminat beitragen wird.

Umwandlung der Masse bei den Uebersetzungen.

Bei allen übersetzten Artikeln sind die Gewichts- und Masseinheiten angenähert in englische oder metrische Einheiten umgewandelt.

Die Einwirkung der Temperatur auf die Abbindezeit des Portlandzements.

von F. WHITWORTH

Mit der Entwicklung der sehr fein gemahlten Zemente ist die Aufmerksamkeit auf den Einfluss der Wärme auf die Abbindezeit gelenkt worden. Um zahlenmässige Unterlagen zu erhalten, sind die folgenden Versuchsserien vorgenommen worden.

Ein Zement normaler Zusammensetzung mit einem Gehalt von 1,80% SO_3 wurde auf Temperaturen von 100 bis 600° C dreissig Minuten lang erhitzt, und nach Abkühlen in der Luft wurden Abbindezeitversuche ausgeführt. Die erhaltenen Ergebnisse sind äusserst interessant. Es wurden drei Umschlagpunkte ermittelt, die der Reihe nach, beginnend mit den niedrigeren Temperaturen, diskutiert werden sollen. Der nicht erhitzte Zement band langsam ab (Abbindebeginn nach 110 Minuten; Abbindeende nach 190 Minuten). Bei Erhitzung auf 100° C wurde keine Aenderung der Abbindezeit festgestellt.

Erster Umwandlungspunkt-Falsches Abbinden.—Bei Erhitzen auf 150° C stellte sich eine entscheidende Umwandlung ein, indem das Abbinden innerhalb von 10 Minuten begann, das Abbindeende aber unverändert blieb.

Da sich die Zusammensetzung des Gipses ändert, wenn er auf etwa 110° C erhitzt wird, und da die anderen Bestandteile des Zements schon auf wesentlich höhere Temperaturen erhitzt worden sind, können wir logischerweise annehmen, dass die Eigenschaften des Gipses den Umschlag bewirkt haben. Auf etwa 110° C erhitzter Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) wird in Stuckgips ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) umgewandelt, indem der Gips $1\frac{1}{2}$ Moleküle Wasser abspaltet. Etwa im Gips enthaltener Anhydrit besitzt die α -Form und ist leicht löslich. Er behält diese Modifikation bei, bis etwa bei 200° C. Stuckgips nimmt Wasser auf und bindet in 5 bis 15 Minuten ab.

Das frühzeitige Abbinden erhitzter Zemente ist die mit „falschem Abbinden“ bezeichnete Erscheinung, die ihre Höchstintensität innerhalb von 10 bis 15 Minuten erreicht. Hierauf scheint das Material, eine beträchtliche Zeit sich träge zu verhalten, und dann beginnt allmählich das Erhärten bis zur Erreichung des Abbindeendes. Der Zeitpunkt der Höchstintensität des falschen Abbindens fällt ungefähr mit der Abbindeerhärtung des Stuckgipses zusammen.

Ich habe früher in CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE (April 1930 und Juli 1931) unterstellt, dass dieses falsche Abbinden in Wirklichkeit eine partielle Rekristallisation des entwässerten Gipses im Zement darstellt, möglicherweise im Zusammenhang mit dem freien Kalk oder hochkalkhaltigen Bestandteilen (wahrscheinlich den Aluminaten), während die Hauptmenge des Zements inzwischen normale Abbindeigenschaften beibehält.

Prof. Kuhl stellt in seinem Artikel über die „Zementchemie in Theorie und Praxis“ (Ausgabe Januar 1931) fest, dass die ersten aus der Reaktion zwischen Zement und Wasser gebildeten Nadeln in gewissen Fällen Gipskristalle sind. Diese Feststellung bezog sich auf eine kleine Zementmenge bei einem Wasserüberschuss; diese Voraussetzung wird indessen im Anfangsstadium nach Zusatz des Anmachewassers erfüllt.

Herr Anzlovat hat in der April 1931-Ausgabe vermutet, dass der bei den Rohrmühlentemperaturen gebildete Anhydrit,—diese dürften selten 180° C überschreiten und gewöhnlich sehr viel niedriger als dieser Wert liegen,—nicht schnell genug in Lösung geht, um das Abbinden des Zements zu verzögern, und dass dieses daher die Ursache des falschen Abbindens sei. Im

Gegenteil ist der bei dieser Temperatur gebildete Anhydrit leicht löslich so, dass man dieses nicht als die wahre Erklärung für das falsche Abbinden ansehen kann.

Zweiter Umwandlungspunkt-Schnellbinder.—Der nächste Umschlag erfolgte, wenn der Zement etwas über 200°C erhitzt wurde. Der Zement entwickelte dann ein echtes Rapidbinden (Beginn nach 6 Minuten; Ende nach 10 Minuten). Auch dieser Punkt fällt mit einem Umwandlungspunkt des erhitzten Gipses zusammen. Wird Gips auf etwa 200°C erhitzt, so wird er in wasserfreies Kalziumsulfat (CaSO_4) umgewandelt. Der jetzt gebildete Anhydrit liegt in der β -Modifikation vor und nimmt nur sehr langsam Wasser auf. Es dürfte so sein, dass Anhydrit dieser Modifikation zu langsam in Lösung geht, um irgend einen Einfluss auf das Abbinden des Zements auszuüben, und der letztere schlägt daher in seine natürlichen schnellbindenden Eigenschaften um.

Dritter Umwandlungspunkt-Rückkehr zum Normalbinder.—Der nächste Umwandlungspunkt wurde erreicht, wenn der Zement auf etwa 500°C erhitzt wurde. Bei dieser Temperatur wurde der Zement wieder normalbindend (Beginn nach 95 Minuten; Ende nach 200 Minuten). Auch dieser Punkt fällt wieder mit einem Umwandlungspunkt des erhitzten Gipses zusammen. Auf etwa 500°C erhitzter Gips bildet ein wasserfreies Kalziumsulfat, das in Wasser leicht löslich ist. Er ist daher wieder in der Lage, einen verzögernden Einfluss auf das Abbinden des Zements auszuüben, und der letztere erlangt wieder seine normalbindenden Eigenschaften.

Die festgestellten Eigenschaften dürften sich modifizieren bei Zementen, die einen merklich grösseren oder kleineren Gipsgehalt besitzen, dürften aber nur unwesentlich durch Änderungen der chemischen Zusammensetzung verändert werden. (Es wird nur auf Portlandzemente in dieser Abhandlung Bezug genommen).

Nach diesen Versuchen scheint Anhydrit der unlöslichen β -Modifikation keinen verzögernden Einfluss auf das Abbinden von Zement auszuüben. Es ist auch nach der Geschwindigkeit des Rapidbindens unverkennbar, dass, wenn der Verzögerer wirksam sein soll, er aller Wahrscheinlichkeit nach sehr leicht löslich sein muss. Anhydrit der α -Modifikation und das Halbhdyrat entsprechen beide dieser Bedingung und das Dihydrat in etwas geringerem Masse.

Ist die Theorie einer partiellen Rekristallisation des dehydrierten Gipses als Ursache des falschen Abbindens richtig, und sie erscheint auch als die logischste der angeführten, dann muss das Kalziumsulfat vor, während und nach der Kristallisation gleichmässig wirksam sein, oder aber es muss noch eine ausreichende Menge gelöst sein, um das Abbinden zu verzögern. Im letzteren Falle dürfte die Menge sehr klein sein. Die einzige Unterstellung, die ich im gegenwärtigen Augenblick machen kann, ist die, dass das Kalziumsulfat partiell katalytisch wirkt.

Die hier mitgeteilten Versuche können in den normalen Werkslaboratorien wiederholt werden. Es muss darauf geachtet werden, dass die gesamte Zementmenge auf die gegebenen Minimaltemperaturen gebracht wird und auf diesen Temperaturen für die Dauer von 30 Minuten erhalten bleibt, da im anderen Falle irreführende Resultate erhalten werden, besonders in der Nähe des niedriger liegenden Umwandlungspunktes. Hierbei wurde eine sehr interessante Tatsache festgestellt: War der Zement nicht lange genug erhitzt oder die Temperatur nicht hoch genug, so band der Zement normal ab, ohne falsches oder rapides Abbinden aufzuweisen. Diese Beobachtung dürfte einige der divergierenden Ergebnisse aufklären, die Betriebschemiker in heissen Ländern erhalten haben. Ich sehe eine mögliche Erklärung darin, dass der

Gips teilweise in unlöslichen Anhydrit umgewandelt war, dass jedoch ein Teil als Stuckgips zurückgeblieben war. Da indessen die als Stuckgips verbleibende Menge nicht ausreichte, ein ausgesprochen falsches Abbinden hervorzurufen, war sie ausreichend, um das Abbinden des Zements zu verzögern.

Diese Mitteilung sollte im Zusammenhang mit meinen beiden früheren Beiträgen zu diesem Gegenstand in der Zeitschrift CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE gelesen werden, auf die vorher Bezug genommen wurde.

Die Werke des Wicking Konzerns.

DIE Wicking'schen Portland-Cement und Wasserkalkwerke A.G., mit dem Sitz der Verwaltung in Münster (Westfalen) umfasst heute 13 Werke, während sich ein vierzehntes Werk am Rhein im Bau befindet und demnächst mit dem Betrieb beginnen wird; ausserdem hat der Konzern die Produktion einiger anderer Werke aufgekauft und endlich gehören zum Wicking-Konzern noch die Hoexter-Godelheim-Werke, die stillgelegt wurden und deren Kontingent im Rahmen des Syndikats auf die übrigen in Betrieb befindlichen Werke des Unternehmens übertragen wurden. Diese starke Konzentrationsbewegung hat ihren sinnfälligen Ausdruck rein äusserlich darin gefunden, dass von 1915 noch in Westfalen existierenden 34 selbstständigen Gesellschaften schon 1927 nur noch deren 24 bestehen.

Die Produktion des Wicking-Konzerns beträgt etwa:

Werk	G	ründungsjahr	Tägliche Erzeugung (t)			
			im 1. Betriebsjahr		heute	
Westfalia	1884 ...	...	75 ..	...	450
Porta	1889 ...	...	18-19 ..	...	—
Lengerich I	1890 ...	...	— ..	...	—
Lengerich II	..	1897 ...	...	180 ..	...	400
Friedrichshorst	...	1898 ..	...	150 ...	...	1000
Bueren	1899 ..	...	10 ...	...	675
Mark	1899 ...	...	180-200 ..	...	550
Grimberg	1900 ...	...	10 ...	...	600
Union	1900 ...	...	120 ..	...	300
Horstkoetter	..	1907 ..	...	240 ...	...	450
Zollern	1908 ..	...	136 ...	...	340
Lengerich III	..	1911 ..	...	— ...	...	—
Klasberg	1914 ...	...	75 ...	...	300

Werk Westfalia in Beckum.—Diese Fabrik ging ursprünglich aus einer Kalkbrennerei hervor, wurde 1919 mit der Porta-Union fusioniert und mit diesen zusammen 1921 den Wickingwerken angegliedert. Als Rohmaterialien dienen harter Kalkstein und Kalkmergel. Die Förderung erfolgt mittels Löffelbaggers und Kleinbahnbetrieb. Zur Krafterzeugung stehen Flammrohrkessel (12 Atm.) und Verbunddampfmaschinen mit Kondensation zur Verfügung; ausserdem besitzt das Werk heute Anschluss an die Ueberlandzentrale.

Die Aufbereitung des Rohmaterials geschieht auf nassem Wege. Das durch Titanbrecher vorgebrochene Material wird mit Kombinatoren zu Dickschlamm feingemahlen, welcher den Ofen durch Schlamm pumpen zugeführt wird. Das Brennen erfolgt in Drehöfen, worauf der Klinker in eiserne Silos mit automatischer Entleerung ueberführt wird. Die Vermahlung wird mittels

Ergomuehlen,—verkürzte Rohrmuehle mit Windsichtung—, bewirkt. Eiserne automatisch leerbare Silos mit automatischer Wägeeinrichtung dienen zur Lagerung des fertigen Zements. Es wird dann direkt in Waggonen auf eigenem Anschlussgleis verladen.

Werk Porta in Porta-Westfalia.—Das im Vorfeld der Weserberge lagernde Rohmaterial gehört zur Juraformation und besteht aus Muschelkalk mit dazwischen liegenden Naturzementschichten und Tonlagern. In den Brüchen wird mit Pressluftbohrung gearbeitet, und das gebrochene Material wird in 1½ cbm fassenden Wagen mit Lokomotivbetrieb zum Werk transportiert. Die erforderliche Kraft wird in vier Zweiflammrohrkesseln mit je 120 qm Heizfläche und zwei Heissdampfverbundmaschinen von zusammen 2500 PS erzeugt. Für die Aufbereitung dienen, da nach dem Trockenverfahren gearbeitet, eine Trockentrommel, 2 Solomühlen von Polysius, während ein Titanbrecher und Schottersilos für die Vorzerkleinerung zur Verfügung stehen. Das Rohmehl wird in 4 Drehöfen gebrannt, von denen drei bei 2 m Durchmesser je 30 m lang sind, während der vierte ein Soloofen von Polysius mit 74 m Länge ist. Dieser letzte mündet in einen Eisenbetonschornstein, der sich bisher hervorragend bewährt hat. Kugel-Rohrmuehlen sowie ein aus Vorgries und Feinmühle bestehendes Aggregat Kruppscher Bauart dienen der Klinkervermahlung. In der Zementmühle wird mit Windsichtung gearbeitet. Der Zement lagert in Holzkammersilos, aus denen er in Fässer resp. Säcke abgepackt und entweder auf dem Wasserwege,—Verbindung mit der Weser durch eine Seilbahn—, oder per Bahn verladen wird.

Werk Lengerich I in Lengerich.—Das Rohmaterial kommt aus den westlichen Ausläufern des Teutoburger Waldes und gehört geologisch zur oberen Kreideformation, und zwar handelt es sich um Kalke und Mergel. Der Abbau wird mit Druckluftbohrhammern und Sprengung bewirkt, wobei das Prinzip des Etagenabbaus befolgt wird. Das von Hand gebrochene und verladene Material wird mittels Schmalspurbahn zur Fabrik geleitet.

Die im Werk benötigte Kraft wird von der Ueberlandzentrale mit 30.000 Volt Spannung geliefert und auf 500 Volt transformiert. Die Aufbereitung des Rohmaterials geschieht nach dem Nassverfahren. Das in Rohrmuehlen (Abb. 1, Seite 1003) gefeinte Material wird mittels Druckluft in grossen Behältern gemischt und den Drehöfen (Abb. 2, Seite 1004) direkt zugeführt. Der in grossen Behältern lagernde Klinker wird mittels Schneckentransporteuren dem Zementmühlenbetrieb zugeleitet, in welchem Ergo- und Dreikammernmuehlen zur Aufstellung gelangt sind. Das fertige Erzeugnis lagert in grossen eisernen Hochbehältern, an deren unteren Auslauf Stützen vorhanden sind, die mit fahrbaren automatischen Sach- und Fasspackmaschinen verbunden werden koennen, so dass, je nach Wahl, aus dem einzelnen Silo abgezogen werden kann. Die Verladung geschieht mit Spezialsackkarren direkt in die Waggonen. Das Werk verfügt im uebrigen über eine eigene Giesserei.

Werk Lengerich II in Lengerich.—Das Rohmaterial besteht aus Plaener und Mergel der Kreideformation. Der Abbau geschieht noch heute von Hand im Tagebau; das geförderte Rohmaterial wird mittels Gleisseilbahn zur Fabrik transportiert. Die Kraftanlage umfasst 5 Zweiflammrohrkessel und zwei liegende Verbunddampfmaschinen; ausserdem ist Anschluss an die elektrische Ueberlandzentrale vorhanden. Die Aufbereitung des Rohmaterials erfolgt durch Titanbrecher und Ergomuehlen mit Windsichtung. Es wird nach dem Trockenverfahren gearbeitet und das Rohmehl in Silos eingelagert. Das Brennen geschieht in automatisch arbeitenden Schachtofen mit Mannstaedt bzw. Thieleroesten (Walzen resp. gegeneinander bewegter Planrost). Der Klinker lagert in einem

grossen Schuppen, wird zunächst mit Steinbrechern vorgebrochen und dann in einer Pfeifferschen Hartmühle und einer Ergomühle, beide mit Windsichtung, feingemahlen. Der Zement wird aus Silos mit Packmaschinen in Säcke, mit Ruettelbänken in Fässer abgepackt.

Werk Friedrichshorst bei Beckum.—Das der Kreideformation angehörende Vorkommen des Rohmaterials befindet sich in nächster Nachbarschaft der Fabrik. Der Abbau erfolgt mit 4 Löffelbaggern, während mittels Pressluftwerkzeugen die Sprenglöcher gebohrt werden. Die ursprünglich aus zwei Dampfmaschinen zu 300 und 600 PS bestehende Kraftanlage ist durch eine 2500 PS Gleichstromdampfmaschine und eine 1000 PS starke Verbundmaschine wesentlich erweitert worden. Der Dampf wird zum grössten Teil durch einen hinter den Drehöfen eingebauten Abhitzekeessel sowie durch einen mit Kohlenstaub gefeuerten Wasserrohrkeessel erzeugt. Der Betriebsdruck beträgt 15 Atm. In den Betrieben ist man zumeist zu elektrischen Einzelanreiben übergegangen. Der Drehstrom kann entweder im Werk selbst oder aber im Falle einer Störung der Ueberlandstromversorgung entnommen werden.

Das Rohmaterial wird mittels Titanbrechern, Gegenstromtrockentrommeln mit Beheizung durch die Drehofenabgase, elektrischer Entstaubung (Abb. 3, Seite 1005), Vorschrotmühlen, Eigomühlen mit Windsichtung und Mehrkammermühlen aufbereitet. Neun automatische Schachtöfen und zwei 50 m lange Drehöfen mit 2,80 m Durchmesser stehen für den Brennprozess zur Verfügung.

Der Klinker lagert in einer 20.000 t fassenden Halle; alle Transporte des Klinkers erfolgen mechanisch. Zur Vermahlung dienen ausschliesslich Mehrkammermühlen eigener Konstruktion.

Die Zementsilos (Abb. 4, Seite 1006) aus Eisenbeton fassen etwa 12.000 t Zement. Die Förderung des Zements wird heute nur durch Fuller-Kinyonpumpen (Abb. 5, Seite 1007) bewirkt. Die modernen Packmaschinen ermöglichen eine stündliche Leistung von 200 Sack per Arbeiter. Abb. 6 (Seite 1008) zeigt eine Gesamtansicht des Werks.

Werk Bueren in Bueren.—Die Rohmaterialien bestehen aus Kalk- und Tonmergeln sowie Kalksteinen der Kreideformation. Das Gestein wird mittels Hänge- und Seilbahn zur Fabrik transportiert. Im Bruch werden die Bohrlöcher mit Stossbohr- und Drehbohrmaschinen hergestellt. Zu den ursprünglich vorhandenen zwei Doppelflammrohrkesseln, einer Haupt- und einer Hilfsdampfmaschine sind zwei weitere Kessel und noch eine Hauptdampfmaschine getreten. Ausserdem steht noch Fernstrom zur Verfügung.

Die Aufbereitung erfolgt nach dem Trockenverfahren. Steinbrecher, Kollergänge, Cummertrockner, Rohrmühle und Maxeconmühlen mit Windsichtung kennzeichnen diesen Teil des Betriebs. Das Rohmehl wird auf Dorstener Pressen verziegelt und in z.T. automatisch arbeitenden Drehröstöfen gebrannt. Der Klinker lagert 10 m hoch in Betonhallen, die automatisch beschickt werden. Zur Vermahlung dienen Verbundmühlen. Die Packung des Zements erfolgt ebenfalls mittels automatisch anzeigender Waagen.

Werk Mark in Neubeckum.—Das Rohmaterial besteht aus Mergeln und Kalksteinen des oberen Senons. Auf den früher terrassenförmig, in horizontalen Schichten erfolgenden Abbau ist neuerdings Dampfbaggerbetrieb eingeführt worden. Das Material wird in $2\frac{1}{2}$ cbm fassenden Wagen mit Lokomotivbetrieb zur Fabrik geschafft. Die erforderliche Kraft wird durch Anschluss an die elektrische Ueberlandzentrale gewonnen. Der Strom wird durch drei Transformatoren von 1250 KWA auf 500 Volt Spannung reduziert. Zwei durch die Abhitze der Drehöfen geheizte Trommeln von je 24 m Länge und 2 m

Durchmesser trocknen das Rohmaterial. Zwei Titanbrecher mit je 8 Schlägern und zwei Verbundmühlen-System Andreas von je 11 m Länge und 2 m Durchmesser bewirken die Zerkleinerung der Rohstoffe. Für die Rotieröfen ist ein Silo mit 10 Kammern zur Aufnahme des Rohmehls vorhanden, während die Verziegelung des in Schachtföfen erzeugten Klinkers auf fünf zweitempeligen Polysiuspressen und einer Dorstener Presse erfolgt. Dietzsch-Öfen und zwei 60 m lange Drehöfen mit erweiterter Sinterzone stehen zum Brennen zur Verfügung. Der Schachtofenklinker lagert in einer Halle von 70 x 35 m Grösse und wird aus dieser mittels schräger Kettenbahn zur Zementmühle transportiert. Der Drehofenklinker lagert in drei geschlossenen, 13.000 t fassenden Türmen. Die Vermahlung des Drehofenklinkers erfolgt in zwei Verbundmühlen, während der Schachtofenklinker mit 3 Vorgries- und 5 Kugelmühlen auf die erforderliche Feinheit gebracht wird. Ein 1200 t fassender Eisenbetonsilo dient zur Aufnahme des Zements. Verpackt wird mit automatischer doppelter Sackpackmaschine. Für die Fasspackung stehen zwei fahrbare Fasspackmaschinen, die den Zement mittels einer Schnecke in die Fässer drücken, zur Verfügung.

Werk Grimberg & Rosenstein in Ennigerloh.—Kalksteine, Kalk- und Tonmergel der Kreideformation werden als Rohstoffe verwendet. Das gebrochene, in grosse Stücke gesprengte Material wird auf Kippwagen geladen und mit Lokomotivbetrieb zur Fabrik gefördert. Zweiflammrohrkessel, ein Wasserrohrkessel, drei Hauptdampfmaschinen und ein Dieselmotor erzeugen die benötigte Kraft. Die trocken Aufbereitung geschieht mit Steinbrechern, Walzwerken, Rohr- und Verbundmühlen. Das in Silos lagernde Rohmehl wird hierauf in fünf Drehöfen von 30-35 m Länge gebrannt. Der Klinker lagert in 15 m hohen Eisenbetonhallen und wird in sieblosen Kugelmühlen mit Windsichtung gemahlen. Die Abpackung in Säcke erfolgt mittels automatischer Waagen, während die Fässer auf Rüttelwerken mit automatischen Fasspackmaschinen gepackt werden.

Werk Union in Ennigerloh.—Dieses Werk verarbeitet die gleichen Rohstoffe wie das vorher behandelte, wobei der Abbau allerdings noch von Hand erfolgt. Das so geförderte Material wird mit Lokomotivbetrieb zum Werk transportiert. Vier Zweiflammrohrkessel mit je 100 qm Heizfläche, zwei Dynamomaschinen, eine Hanomag-Zweizylinder-Dampfmaschine und eine Möllersche Zweizylinder-Dampfmaschine erzeugen die benötigte Kraft. Es wird nach dem Trockenverfahren gearbeitet. Die Aufbereitung des Rohmehls erfolgt durch Titanbrecher (Hammerbrecher), zwei Trockentrommeln, Gries- und Rohrmühle einschliesslich Windsichtung. Für das Rohmehl stehen drei Silos zur Verfügung. Der Brand des Klinkers wird in drei Drehöfen von je 30 m Länge und 2 m Durchmesser durchgeführt. Der Klinker lagert in einer grossen 8 m hohen Halle. Beschickung und Entleerung dieser geschieht mittels Transportrinnen. Zwei Löhnertsche Rohrmühlen und ein Kruppsches Mahlaggregat, bestehend aus Vorschrot- und Feingriesmühle, besorgen die Vermahlung bei der ebenfalls Windsichtung vorgesehen ist. Sechs Silos dienen der Lagerung von Zement; Kettenentleerung ist eingerichtet und automatisch arbeitende Libra-Sackwaagen sind vorhanden.

Horstkoetter & Illigens Werk in Beckum.—Das Rohmaterial besteht aus Kalksteinen und Kalkmergel und wird durch Löffelbagger gefördert. Kleinbahn mit Lokomotivbetrieb schafft das Material zum Werk. Die Krafterzeugung wird durch Flammrohrkessel mit Ueberhitzern und Verbunddampfmaschinen mit Kondensation sowie durch Anschluss an die elektrische Ueberlandzentrale bewirkt. Auch dieses Werk bereitet sein Rohmaterial trocken auf. Titanbrecher und Trockentrommeln, welche durch die Drehofenabgase geheizt werden, Kugelfall- und Rohrmühlen bewirken die Herstellung des Rohmehls. Die Mischsilos für das Rohmehl sind nach dem Zellensystem in Eisenbeton

ausgeführt. Die Aufgabe des Rohmehls auf die Drehöfen wird in Mischschnecken mit Anfeuchtung bewirkt. Polysius'sche Drehöfen mit erweiterter Sinterzone besorgen den Brand zu Klinkern. Der Klinker wird mit Grossraumverbundmühlen zu Zement vermahlen. Die Verpackung erfolgt aus hölzernen Zellsilos mittels automatischer Entleerung und ebensolcher Wägung. Es wird dann direkt von Hand in die Waggonen verladen.

(Fortsetzung folgt.)

Das Modell einer Zementfabrik.

Ein äusserst vollständiges Modell einer Zementfabrik bildet einen Teil der Ausstellungsobjekte in dem kürzlich eröffneten Vorführungsraum des Vickers-Hauses, Westminster. Das Modell steht auf einem Tisch von 3,60 m Länge und 1,50 m Breite. Es stellt im Masstab 1:100 die Miniaturwiedergabe eines Werkes dar, das mit Berücksichtigung künftiger Vergrösserungen und einer Jahresleistung von 250.000 t angelegt worden ist. Es wird angenommen, dass die Rohmateriallager sich in unmittelbarer Nachbarschaft der Fabrik befinden. Die Transportmöglichkeiten, —Strassen, Bahn und Wasserweg—, befinden sich in idealer Nähe. Das Modell ist in vielen kleinen Einzelheiten wie z.B. den Lichtleitungen und den Pollern für die Leichtertaupe vollständig.

Wie aus der Abbildung (Seite 1026) zu sehen, ist die Fabrik derart angelegt, dass die Rohmaterialien wie Kalkstein, Kohle, Gips und der Klinker durch einen Laufgreifkran bewegt und verteilt werden. Die wichtigsten Maschineneinheiten bestehen aus zwei Öfen von je 114 m Länge, die mit den patentierten Vickerschen Rekuperatoren ausgerüstet sind und die mit Staubkohle gefeuert werden, die in einer Kohlenmahanlage mit Windsichtung erzeugt wird. Am oberen Ende der Öfen ist eine elektrische Anlage zur Staubabscheidung vorgesehen, um die Ofenabgase zu reinigen. In Uebereinstimmung mit dem gegenwärtigen Brauch sind die Nass- und Zementmühlen sämtlich in einem Mühlengebäude plaziert, und sie besitzen Zentralantrieb. Pneumatische Transportmittel sind vorgesehen, um den Zement von den Mühlen nach den Silos zu fördern.

Die Dimensionen der Hauptteile der Fabrik sind folgende: schwingender Backenbrecher 1,83 × 1,22 m; Hammerbrecher 1,52 × 0,66 m; Waschmühle für Ton 6 m Durchmesser; Nassmühlen 2,13 × 12,2 m; Zementmühlen 2,13 × 11 m; Öfen: 3,60 m Durchmesser in der Sinterzone, 4,25 m Durchmesser in der Kalzinierungszone, 3,10 m sonstiger Durchmesser und 114,3 m Länge.

INSERATE.

ALLE, Anzeigen in der internationalen Zeitschrift „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“ betreffenden Anfragen müssen an Concrete Publications, Ltd., London, S.W.1, Dartmouth Street 20, (England), gerichtet werden.

Der Anzeigentext muss diese Adresse spätestens bis zum 25. des Monats, der der Veröffentlichung vorangeht, erreichen. Wenn die Herausgeber bis zu diesem Termin keinen neuen Text erhalten, behalten sie sich das Recht vor, den letzten Text erneut zu veröffentlichen.

Eine vergleichende Untersuchung der Portlandzementindustrie in den Vereinigten Staaten von Amerika, Kanada und Gross-Britannien.—VII.

von HAL GUTTERIDGE.

Müllerei.

Da den für harte Rohmaterialien und Klinkermahlung verwendeten Aggregaten vieles gemeinsam ist, so sollen an dieser Stelle beide diskutiert und auf die Unterschiede hingewiesen werden. Früher wurde die Zerkleinerung harter Stoffe von einer Maximalgrösse von 3,8 cm auf die erforderliche Feinheit in zwei Phasen bewirkt. Die erste Phase, bei der die Substanz auf groben Gries zerkleinert wurde, erfolgte in einer Kugel- oder einer anderen Vormühlentype, und für die zweite Phase, bei welcher das Material auf die Endfeinheit pulverisiert wurde, war die Rohmühle allgemein gebräuchlich. Das Mahlen mittels Kugel- und Rohrmühlen in zwei Phasen besass gewisse Nachteile, besonders im Hinblick auf die grosse Zahl der Getriebe und auf den erforderlichen Raum. Um diese Nachteile zu vermeiden, gelangte die Verbundmühle, welche die Wirkung der Kugel- und Rohrmühlen in einem Aggregat kombiniert, zur Einführung. Diese Art Mühle, von der die Vickers-Armstrongmühle (Abb. 1, Seite 1011) eine Ansicht zeigt, wird jetzt allgemein sowohl für das Rohmaterial wie für die Klinkermahlung angewendet. Sie besitzt drei oder vier Kammern. Ein Fortschritt der Verbundmühle mit Parallelwandungen besteht in der Vergrösserung des Durchmessers auf dem Vormahlende, um sich so mehr der relativen Geschwindigkeitssteigerung der Kugelmühle gegenüber der Kugelgeschwindigkeit in der Rohrmühle zu nähern. Es wird behauptet, dass ein höherer Wirkungsgrad mit der Verbundmühle und erweitertem einen Ende gegenüber der Mühle mit parallelem Durchmesser erreicht wird, hauptsächlich wegen der Fähigkeit der Vorkugelskammer, welche bei grosser Leistung an die übrigen Kammern ein feiner gemahlenes Erzeugnis weitergibt. Die Konstruktion dieser Mühle mit dem sich verjüngenden Profil liefert eine sehr kräftige mechanische Verbindung zwischen einer Mühle von zwei verschiedenen Durchmessern und weiter eine verbesserte Kugeleinwirkung in der Vormahlkammer. In dem Vorraum wird eine grössere Kugelgeschwindigkeit erreicht als am Entleerungsende der ersten Kammer, in welcher die Geschwindigkeit der Kugeln sich der der Kugeln in der darauffolgenden Feinmahlungskammer nähert wegen der verhältnismässig kleinen Korngrösse des Materials am Entleerungsende der ersten Kammer.

Andererseits glaubt man in gewissen Kreisen, dass der Vorteil des Wirkungsgrades der Mühle mit zwei verschiedenen Durchmessern nicht durch die zusätzlichen Anschaffungskosten dieses Aggregats gegenüber der Mühle mit Parallelmantel ausgeglichen wird, und dass die Angelegenheit erfolgreich durch wechselnde Gestaltung der Mahlplatten gelöst werden kann. Der Erfolg beim Arbeiten mit Verbundmühlen mit drei oder vier Kammern hängt von der durch Erfahrung gewonnenen Kenntnis ab, wie die Mühlen in den einzelnen Abteilungen auszukleiden sind und mit welcher Art von Kugelcharge jede einzelne Kammer für ein gegebenes Material beschickt werden muss.

Geschlossener Mahlkreis.—Alle harten Materialien, die gebrochen werden, enthalten eine gewisse Menge an Material, das wegen seiner Mahlfeinheit keine

weitere Zerkleinerung erforderlich macht, oder das im anderen Falle nur noch eine geringe weitere Zerkleinerung nötig macht, um die gewünschte Korngrösse zu haben. Beim offenen Mahlkreis wird dieses gesamte Material durch jede aufeinanderfolgende Mahlphase getrieben mit dem Ergebnis, dass unnötige Kraft absorbiert wird, und dass ein Teil des Materials feiner als erforderlich zerkleinert wird. Es ist erwiesen, dass die Feianteile zwischen gröberen Teilen in einer Mühle einen polsterartigen Effekt ausüben, der merklich das Mass der Zerkleinerung des Materials verzögert. Beim System des geschlossenen Mahlkreises wird diese Polsterwirkung dadurch reduziert, dass man in gewissen Phasen des Mahlprozesses alles das Material absaugt, das unter die Korngrösse jeder Phase zerkleinert ist. Wenn solches Material die geforderte Endfeinheit besitzt, so wird es dem System zur weiteren Zerkleinerung nicht wieder zugeführt, doch wird das entzogene Material, das sich oberhalb eines derartigen Mahlfeinheitsgrades befindet, in einer späteren Phase wieder zugeleitet. Beim Zementmahlen ist es aus Mischgründen lediglich üblich, das gesamte entzogene Material der letzten Mahlphase wieder zuzuführen, damit das Erzeugnis homogen wird.

Für die richtige Sinterung des Rohmaterials im Ofen sind gewisse Voraussetzungen nötig, und die nicht zum wenigsten wichtige bei den physikalischen Anforderungen besteht in der gleichmässigen Mahlfeinheit des Rohmaterials. Ist das Rohmaterial beim Beschicken des Ofens aus Teilen verschiedener Grösse von grobem zu sehr feinem zusammengesetzt, so wird der resultierende Klinker daran krank, dass die feinen Teile überbrannt und die groben zu leicht gebrannt sind. Jedes Mittel, durch das die Mahlfeinheit des Materials reguliert werden kann, um Extreme herabzumindern, wird sich daher segensreich auswirken. Das System des geschlossenen Mahlkreises liefert eine sehr viel grössere Kontrolle über den gleichmässigen Grad der Zerkleinerung als es der offene Mahlkreis kann, und dieses Erkenntnis kann Anwendung auf die Abscheidung der ultrafeinen Partikel finden. Das „Bureau of Standards“ in Washington hat kürzlich bestätigt, dass es keinen Vorteil für das Brennen mehr bietet, wenn man Material besitzt, das feiner als das Sieb von 14.000 Maschen/qcm ist so, dass also dieser Punkt von Bedeutung ist.

In Gross-Britannien sind die Vorteile der Klinkermahlung im geschlossenen Mahlkreis schon seit 1910 erkannt, als eine von Ernest Newell & Co. hergestellte Mühle in England Aufstellung fand. Der Klinker wurde der Mühle auf übliche Weise zugeführt und das Erzeugnis nach einem Sieb eleviert, der den Teil, welcher eine genügende Mahlfeinheit besass, um weiter zu gelangen, von dem Rest separierte, der der Mühle wieder zugeführt wurde, um sich mit dem eintretenden Klinker zu vereinigen zu weiterer Zerkleinerung. Dieses war eine Einkammerrmühle, und daher waren das Mass der Kontrolle und die verhältnismässige Kraftersparnis begrenzt. Der Ausbau dieses Systems und seine Anwendung auf Drei- und Vierkammerrmühlen hat zu genauer Kontrolle über die gleichmässige Korngrösse des Erzeugnisses dadurch geführt, dass Sieber zwischen jede Phase eingeschaltet werden können.

Ein Beispiel für das System des geschlossenen Kreises in Anwendung auf eine Vierkammer-Verbundmühle wird in dem Fliessdiagramm der Abb. 2 (Seite 1012) gezeigt, und Abb. 3 (Seite 1013) stellt die Ansicht der Mühle, auf die es angewandt ist, hergestelt von Allis-Chalmers (Ver. Staaten), dar. Man erkennt, dass auf dem Fliessdiagramm am Ende der ersten Phase die zu grossen Teile dem eintretenden Klinkerstrom wieder zu weiterer Zerkleinerung zugeführt werden, und dass die unterhalb des Siebes von 64 Maschen/qcm liegenden Teile abgezogen und dem ersten Sieb zugeleitet werden. Aus diesem Sieb gelangt das feine Material zum zweiten Sieb und das gröbere Material

wird der zweiten Kammer zugeführt. Das im zweiten Stadium abgegebene Material gelangt zum zweiten Separator, während der Anteil an Größerem wieder der dritten Kammer zugeleitet wird. Das Erzeugnis der dritten Phase gelangt zur Endzerkleinerung in die vierte Kammer zusammen mit dem feinen Material aus dem zweiten Separator so, dass das gesamte Material zusammen in der letzten Phase gemahlen und dabei richtig gemischt wird.

In den letzten beiden Jahren hat das Mahlen im geschlossenen Kreise einen grossen Antrieb besonders beim Trockenmahlen von Rohstoffen erfahren. Es wird entweder in den grossen Kammerverbundmühlen oder den verschiedenen Arten der einzelnen Vormühlen verwendet. Die meisten Trockenmühlen mit geschlossenem Mahlkreise benutzen Luftseparatoren, um die Feianteile abzuschneiden, doch werden in einzelnen Fällen auch vibrierende Siebe für diesen Zweck eingebaut. 1930 bauten in den Vereinigten Staaten etwa vierzehn Zementgesellschaften Trockenmahanlagen mit geschlossenem Mahlkreis unter Verwendung von Luftseparatoren als Sichter ein. Eine Gesellschaft montierte eine luftgesichtete Mühle, die eine Abart des geschlossenen Kreises darstellt, bei der ein Luftstrom durch die Mühle streicht, welcher die ultrafeinen und etwas gröberen Teile aufnimmt. Diese werden dann gesichtet und der gröbere Anteil der Mühle wieder zugeführt. Beim Nassmahlen verwendeten 1930 drei Gesellschaften das Mahlen im geschlossenen Kreise, indem es zwei nur in der Vormahlkammer mit vibrierenden Sieben als Sichter benutzen und die dritte es in der letzten Phase anwendete unter Benutzung weiteren Wassers zum Zwecke grosser Mahlleistung und unter Verwendung von Kalandermalzen zum Zwecke der Entwässerung des Schlamms nach dem Mahlen.

Im Vergleich zu den Vereinigten Staaten und Kanada besteht in Grossbritannien nur wenig Meinung dafür, das geschlossene Mahlkreissystem auf der Rohseite anzuwenden, da die meisten Rohmaterialien in dem zuletzt genannten Lande weiche sind und auf die erforderliche Mahlfineinheit durch Behandlung in Waschmühlen zerkleinert werden können.

Einfluss auf den Abgasstaub.—Ausser den direkten Vorteilen des Rohmaterialmahlens im geschlossenen Kreise hinsichtlich der Kraftersparnis bei gleichbleibender Menge oder andererseits hinsichtlich gesteigerter Leistung bei gleichem Kraftverbrauch und hinsichtlich der verbesserten Kontrolle über die gleichmässige Grösse des gemahlenen Erzeugnisses, die bessere Voraussetzungen für den Brand schafft, existiert ein indirekter Vorteil in Verbindung mit der durch den Ofen ausgesonderten Staubmenge. Der Staub eines Drehofens besteht hauptsächlich aus ungenügend gebranntem Rohmaterial, teilweise kalziniertem Material und bei kohlebefeuernden Ofen aus Kohlenasche. Die beiden ersten und besonders das erste sind direkt mit der Mahlfineinheit der Rohmaterialien verknüpft, denn je grösser der Prozentsatz an ultrafeinem Material ist, um so grösser wird die Staubmenge sein, denn je leichter die Teilchen ungebrannten oder teilweise gebrannten Materials sind, desto leichter werden sie von den Gasen aufgenommen und fortgeführt. Alle Verfahren, welche die sehr feinen Teilchen reduzieren, oder aussondern, werden die Staubmenge herabsetzen. Das Mahlen in geschlossenem Stromkreis liefert in dieser Beziehung eine bessere Kontrolle und damit auch ein Mittel, um die Staubmenge zu reduzieren. Es ist ein Problem weiterer Untersuchungen, bis zu welchem Ausmasse bei jedem einzelnen Rohmaterial die untere Grenze der Mahlfineinheit, vereinbar mit Aufrechterhaltung der Zementgüte, gesteigert werden kann, denn jede Steigerung der unteren Mahlfineinheitsergrenze ergibt niedrigere Aufbereitungskosten. Wenn es mit jedem einzelnen Rohmaterial festgestellt wäre, dass sämtliches oder der grösste Teil des Materials unterhalb eines bestimmten Mahlfineinheitsgrades vom Ofen ausgesondert wird, ist es bestimmt nicht

ökonomisch, es durch den Ofen passieren zu lassen, denn Wärme und Arbeit würden unnötigerweise darauf verschwendet, abgesehen von den Kosten der Staubsammlung. Wenn solche Verhältnisse bestehen, würde es besser sein, derartig feines Material im frühestmöglichen Stadium der Rohmaterialaufbereitung auszusondern. Diese Frage könnte durch eine Korngrössenanalyse des zugeführten Materials und durch Vergleich solcher Analyse mit der des Abgasstaubes, mit und ohne den unter dem 14.000-Maschensieb bei der Zufuhr liegenden Teilen, geprüft werden. Wenn z.B. das aufgegebene Material 2½% über die Feinheit des 14.000-Siebes hinaus enthält und der Ofenstaub 5% des Rohmaterialgewichts beträgt, von dem auch 50% über der Feinheit des 14.000-Siebes liegen, so dürfte der Schluss gerechtfertigt sein, dass durch die Aussonderung derartig feinen Materials wahrscheinlich der feine Staub eliminiert oder stark reduziert würde. Beim Zementofenstaub kann die Menge der Teilchen, die feiner als das 14.000-Sieb sind, 50% betragen, oder aber die Staubmenge kann halbiert werden, wenn beim Mahlen im geschlossenen Kreise die Teile ausgesondert werden, welche feiner als das 14.000-Sieb sind. Es ist richtig, dass der feine Staub nicht der bedenklichste ist, da er bei leichter Brise wesentlich weiter als der gröhere Staub fliegt, doch dürfte seine Aussonderung wesentlich dazu beitragen, den Staub als solchen herabzumindern. Es hat sich herausgestellt, dass bei einer Brise von 16 km stündlich Teilchen von der Grösse des 14.000-Siebes aus einem 60 m hohen Schornstein 4 km weit fliegen, während Teilchen von der halben Grösse fünfmal so weit fliegen. Die Frage der Mahlung im geschlossenen Kreise ist daher in Beziehung zum Staub eine, die schärfster Beachtung wert ist.

Eine andere Kombination von Ergänzungsaggregaten, die vorteilhaft zusammenarbeiten dürften, besteht im geschlossenen Strommahlen und dem Sprühaufgabesystem. Bei der Sprühzufuhr wird jedes Teilchen von der Düse mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit aufgegeben, und auf seinem Weg den Ofen hinunter trifft es die heissen Gase, die seinen Fortschritt hemmen und es langsam zur Ruhe bringen. Bei konstanter Anfangsgeschwindigkeit und einem konstanten Widerstand wird ein Teilchen jeder bestimmten Grösse einen bestimmten Weg einschlagen, der leicht berechnet werden kann. Die beiden Voraussetzungen des Betriebs, die nicht völlig konstant erhalten werden können, sind der Zug, der wahrscheinlich schwankt, und die Grösse der Teilchen, welche wechselt. Bei Saugzugventilatoren und besonders, wenn ein direkt mit dem Ofen kombinierter Kühler vorgesehen ist, kann man die Schwankungen des Zugs in enge Grenzen bringen, doch bleibt die Veränderlichkeit der Teilchengrösse bei offenem Mahlen noch bestehen.

Je grösser das Teilchen mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit ist, um so grösser ist sein Kraftmoment und daher seine Fähigkeit, einen gewissen Widerstand zu überwinden. Wenn daher die kleinen Teilchen vor der Aufgabe ausgesondert werden, so wird ein höherer Prozentsatz des Materials den Ofen hinunter wandern. Es gehört zur Sphäre des Mahlens im geschlossenen Mahlkreise, diese Voraussetzung zu schaffen durch Vermeidung der Erzeugung der ultrafeinen Teilchen, und daher dürfte dieses dazu beitragen, den Bereich des Sprühsystems zu erweitern.

Klinkermahlung.—Beim Mahlen der Klinker sind die hinsichtlich Mahlfeinheit angestrebten Resultate völlig von den beim Mahlen des Rohmaterials erforderlichen verschieden. Bei dem letzteren ist die Erzeugung ultrafeiner Teilchen nicht erwünscht; beim Mahlen des Klinkers hingegen sind die feineren Teilchen wesentlich. Die grössten Partikel sind weder bei dem Erzeugnis des Mahlens des Rohmaterials noch des Klinkers erwünscht. In einigen Kreisen

bestehen gewisse Zweifel, ob sich das Mahlen im geschlossenen Kreise für den Klinker eignet. Beim Mahlen im offenen Kreislauf ist das Produkt eine Mischung aller Grade der Mahlfeinheit bis zur Maximalgrösse, und die Eigenschaften eines hieraus hergestellten Betons sind aus Erfahrung her bekannt. Beim Mahlen im geschlossenen Kreislauf wird dagegen ein einheitliches Erzeugnis irgend eines Feinheitsgrades erreicht. Der Zweifel entsteht lediglich aus dem Mangel an Erfahrung, ob solches auf den resultierenden Beton vorteilhaft oder nicht vorteilhaft wirkt.

Infolge der verhältnismässig geringen Polsterbildung des Materials in der Mühle beim Mahlen im geschlossenen Kreislauf besitzen die entstehenden Teilchen, statt abgerundet zu sein, scharfe Ecken und liefern dadurch eine grössere Kontaktfläche und erzeugen eine stärkere Reaktion bei der Hydratation. 1930 wurden in den Vereinigten Staaten drei Anlagen, um Klinker in geschlossenem Mahlkreislauf zu mahlen, aufgestellt, und die Ergebnisse dieser werden den Beweis erbringen, ob dieser Zweifel gerechtfertigt ist oder nicht.

Separatoren.—Die Verwendung von Luft- oder Siebseparatoren ist in dem Artikel über die Aufbereitung des Rohmaterials behandelt worden und auch an anderen Stellen dieser Abhandlungsreihe, und es dürfte an dieser Stelle angebracht sein, deren Verwendung in den Werken zu untersuchen. Beginnend beim Steinbruch können Separatoren zuerst bei harten Materialien zwischen den Vor- und Nachbrechern verwendet werden, um die feineren Anteile um den Nachbrecher herum passieren zu lassen. Beim Trockenverfahren werden Separatoren benutzt, um das von den Trocknern kommende feinere Material die Vormühle direkt zur Endrohrmühle überspringen zu lassen. Diese Separatoren können bei der Vormühle im geschlossenen Kreislauf und auch bei der Endrohrmühle verwendet werden, sei es eine Rohr- oder Verbundmühle. Bei weichen Materialien, bei denen die gesamte Zerkleinerung der Rohmaterialien in den Waschmühlen erfolgt, wird die Separation sofort nach den einzelnen oder kombinierten Waschmühlen vorgenommen. Auf der Klinkerseite werden die Separatoren im geschlossenen Kreislauf bei der Klinkermühle und in der Endrohrmühle oder im geschlossenen Kreislauf bei der Verbundmühle benutzt.

Art, Grösse und Anordnung der Separatoren, die die höchste Verzinsung auf das Anlagekapital liefern, hängen im wesentlichen von den verwendeten Rohstoffen ab. Bei bestehenden Werken bestimmen auch die verwendeten Mahlaggregate und die allgemeine Anlage bis zu einem grossen Umfange die Wahl und Anordnung der Separatoren. Bei neuen Fabriken steht der volle Wert der Separatoren als ein normaler Bestandteil des Verfahrens bei folgender Reduzierung der Betriebskosten zur Verfügung.

Das Ausmass der Reduzierung an Betriebskosten durch Einschaltung von Sieben hängt von den besonderen Bedingungen in jedem Werk ab so, dass ein Versuch, Werte anzugeben, die allgemein anwendbar sind, zwecklos ist. Beispiele sind jedoch bezeichnend, und auf Abb. 4 (Seite 1015) sind die Betriebsergebnisse der Rohstoffe einer Zementfabrik in Pennsylvanien angegeben, die von der „Mining and Industrial Equipment Co., Ltd.“ zur Verfügung gestellt worden sind. Die Ergebnisse sind insofern von grossem Wert, als der Einbau von Separatoren stufenweise zunimmt und die individuelle Wirkung jeder zusätzlichen Installation im einzelnen gezeigt wird. Man erkennt, dass in Nr. 1 bei offenem Mahlkreislauf ein direkt durchlaufender Prozess gewählt wurde unter Benutzung von Kreiselbrechern für Vor- und Nachbrecher und von Hammer- und Kugelmühlen für das Vormahlen. Bei dem zweiten Schema wurde ein Sichtsieb eingebaut, um das feinere Material um den zweiten Brecher

herumzuführen, weiter ein Sieb, um die Kugelmühlen zu umgehen, und überdies liefen die Kugelmühlen im geschlossenen Kreisläufe. Das Ergebnis dieser Veränderung bestand in einer Steigerung der Leistung an 6200-Maschensiebmaterial von 15 auf 25,7 t stündlich und in einer Steigerung in t je Kilowattstunde von 0,765 auf 1,67. Das Leistungsverhältnis im Schema Nr. 1 mit 100 berechnet, wies Schema Nr. 2 218% auf.

Aus Schema No. 3 erkennt man, die Ergebnisse des Wechsels auf Walzen- und Hammerbrecher sowie auf Herkules-Mühlen bei direkt durchlaufendem Verfahren im offenen Kreislauf, das eine leichte Verbesserung gegen Schema Nr. 1 zeigt. Bei Schema Nr. 4 ist die Herkules-Mühle im geschlossenen Kreislauf plazierte, und die Ergebnisse erreichen fast Schema Nr. 2. Bei Schema Nr. 5 weisen die Resultate infolge Einschaltung eines weiteren Siebes, um das feinere Material um die Herkules-Mühle herumzuführen eine entscheidende Verbesserung über die wirksamste der bisherigen Anordnungen, nämlich Nr. 2, auf, und sie steigern das Leistungsverhältnis auf 239% sowie die Menge des 6200-Maschensiebmaterials auf 1,83 t per Kilowattstunde. Mit dem weiteren Einbau von Separatoren, der für eine der sechs Rohrmühlen geschlossenen Kreislauf vorsieht, wird das Mass in t per Kilowattstunde auf 2,84 und der Leistungsfaktor auf 371% gesteigert.

Durch Aendern der Mühlen und durch Einbau von Separatoren hat sich das gesamte Leistungsverhältnis von 100 auf 371% gehoben und die Leistung von 0,765 auf 2,81 t per Kilowattstunde. Es ist auch interessant festzustellen, dass bei den gleichen Zerkleinerungsaggregaten (Schema Nr. 3 bis 6) durch den Einbau der Separatoren das Mass der Leistung von 22,3 auf 40 t per Stunde gesteigert worden ist bei gleichzeitiger Reduzierung der erforderlichen Energiemenge von 24,9 auf 14,1 KWH.

Zentralantrieb.—Seit einiger Zeit hat in der Art des Antriebs von Verbundmühlen ein Fortschritt stattgefunden. Früher war allen drei Ländern das Peripherie-Zahnkranzgetriebe und der Ritzeltrieb gemeinsam, doch neuerdings ist der Zentralantrieb zur Einführung gelangt und auf vielen der modernsten Zementfabriken Gross-Britanniens angewendet worden. Der Zentralantrieb, von dem auf Abb. 5 (Seite 1016) eine Ansicht in Ausführung durch die Firma F. L. Smidth & Co. zu sehen ist, besitzt die Vorteile, dass die Getriebe unter sehr wesentlich verbesserten Bedingungen arbeiten können, bei denen sie völlig frei von abnutzendem Staub sind, und bei denen sie stets in Öl laufen, das kontinuierlich zirkuliert, filtriert und gekühlt wird. Die Getriebe im gekapselten Getriebekasten können auf konstanter Temperatur erhalten werden und können daher mit kleiner Toleranz tief in die Zähne eingreifen im Gegensatz zum Zahnkranzantrieb, der, da er direkt der Mühlenwärme ausgesetzt ist, nicht auf konstanter Temperatur erhalten werden kann, eine grosse Toleranz haben muss, um sich der Mühlenausdehnung anzupassen. Weiterhin passt sich die Zentralantriebsvorrichtung besser der Verwendung von Walzlagern an. Jede dieser verbesserten Bedingungen trägt ihren Teil dazu bei, beim Zentralantrieb eine grössere Wirkung zu erzielen.

Abb. 6 (Seite 1017) zeigt den Zentralantrieb in Ausführung durch die Firma Edgar Allen & Co. Ltd. und Abb. 7 (Seite 1018) ein Zentralantriebsaggregat von 500-875 PS bei 750/121,5 Touren per Minute der Firma The Power Plant Co. Das letztere Aggregat besitzt einige interessante Kennzeichen, da mit ihm eine geringe Geschwindigkeit beim Anlassen und eine hohe beim Betrieb lediglich unter Verwendung eines einzigen Motors erzielt werden kann. Beim Anlassen wird das Vorgelege eingerückt, indem die direkt treibende Kupplung ausgerückt wird. Wenn die Mühle die Anlassgeschwindigkeit erreicht hat,

wird die direkte Kupplung eingerückt, und wenn diese die Geschwindigkeit erreicht hat, wird das Vorgelege automatisch ausgerückt. Das Getriebe ist einfach verzahnt und besitzt einen kleinen Verzahnungswinkel von etwa $7\frac{1}{2}$ Grad. Dieses Getriebe liefert eine stufenweise vorschreitende Aktion, die nicht mit geradzahnigen Getrieben möglich ist, und der kleine Winkel schafft keinerlei bedenklichen Achsialdruck.

Die magnetische Kupplung bei schweren Antrieben ist ein Merkmal, das man in den Vereinigten Staaten und Kanada häufig sehen kann; sie wird beim Antrieb zwischen Synchronmotoren und Verbund-oder Rohrmühlen verwendet. Der Motor wird ohne Belastung angelassen, und die Kupplung nimmt die Belastung auf entsprechend dem Willen des Schaltenden. Um auf Touren zu kommen, beträgt die bei jeder normal dimensionierten Mühle benötigte Zeit ca. 5 Sekunden, und die Beanspruchung des Motors liegt etwa in der Nähe von 50% oberhalb der normalen Belastung beim Laufen. Die Bedienung der Cutler-Hammer-Kupplungen ist sehr einfach, da sie durch einen von Hand geschalteten Rheostaten mit sieben oder acht Stufen erfolgt. Die Stufenschalter sind so proportioniert, dass sie einen Bereich der Antriebskraft von der Kupplung von angenähert drei zu eins geben. Drehstromschalter besitzen ein empfindliches Stromrelais, das mit dem Hauptstromkreis des Motors so verbunden ist, dass, wenn der Strom einen begrenzten Wert überschreitet, die Magnetisierung der Kupplung und die Antriebskraft unter das Vollastdrehmoment des Motors reduziert werden. Sobald alsdann der Strom abnimmt, schliesst sich der Relaisstromkreis wieder und die Kupplung wird wieder mit voller Spannung aufgeladen bis der begrenzte Strom im Motor wieder die Relaiseinstellung überschreitet. Auf diese Weise pendelt die Antriebskraft der Kupplung zwischen zwei Grenzen, die durch die Einstellung des Relais festgelegt sind.

Walzenlager.—Die Einführung von Walzenlagern anstelle von Gleitlagern bei schweren rotierenden Aggregaten wie Mühlen und Oefen ist eine normale Entwicklung, die bei der Suche nach höherem Wirkungsgrad bei der Zementbetriebspraxis stattgefunden hat. Sowohl in den Vereinigten Staaten wie in Gross-Britannien sind Walzenlager mit Erfolg bei Mühlen, wie es gleich im einzelnen behandelt werden wird, und bei Oefen, was in Folge VI dieser Abhandlungsserie unter dem Stichwort „Oefen“ diskutiert wurde, verwendet worden.

Walzenlager bieten gegenüber Gleitlagern viele Vorteile, deren hauptsächlichster die Kraftreduktion ist, die nötig ist, um die gleiche Menge nutzbarer Arbeit zu leisten. Diese Reduktion dürfte die Grössenordnung von 15 bis 20% oder noch mehr besitzen, wenn Walzenlager auf der Zahnraddritzelwelle des Zahnkranzantriebes oder in den Getriebegehäusen der Zentralantriebe neben den Hauptzapfenlagern verwendet werden. Die Lebensdauer von Walzenlagern ist erheblich grösser als die der Gleitlager. Der Verbrauch an Schmiermitteln ist bei Walzenlagern erheblich geringer als im Falle der Gleitlager. Die Ersparnis liegt in der Grössenordnung von 70%. Wegen der höheren Anschaffungskosten der Walzenlager andererseits dürfte diese anfängliche Mehraufwendung infolge der Ersparnisse bei den Betriebskosten unter normalen Verhältnissen innerhalb von drei Jahren amortisiert sein.

Infolge des verhältnismässig niedrigen Wirkungsgrades der Mühlen wird ein erheblicher Teil der zugeführten Kraft in Wärme umgewandelt anstatt in Nutzarbeit hinsichtlich Zerkleinerung des Materials. Abgesehen von der Verschwendung besitzt diese Wärme die Nachteile, dass sie das Material, besonders Klinker, härter mahlbar macht, und dass beim Betrieb der Mühle diese eine unerwünschte Expansion erfährt. Diese Expansion in Richtung der

Achsen, die die Grösse von 20 mm bei einer 12 m langen Mühle annimmt, macht besondere Vorrichtungen zur Anpassung erforderlich.

Bei den leichteren Mühlen mit Gleitlagern, die an zwei Stellen Stützen besitzen, und deren Lager an jedem Ende ein zentrales Zapfenlager besitzen, ist es nicht üblich besondere Vorrichtungen für diese Dehnungen und Kontraktionen der Mühlenlager ausser einer Toleranz vorzusehen, die ausreicht, um der maximalen axialen Expansion zu genügen. Wenn diese Voraussetzung so lange besteht, bis die erzeugte Wärme die Mühle als Ganzes auf ihre Höchsttemperatur erhitzt und damit auf ihre grösste Länge ausgedehnt hat, so wird eine effektive Oberfläche der Lager dem abschleifenden gemahlene Material, das in der Luft in grösserem oder kleinerem Umfange vorhanden ist, ausgesetzt. Um diese ungünstige Situation zu beseitigen, ist ein Walzenlager derart konstruiert, dass sich zwischen den Lagern keine unnötigen Toleranzen befinden, wie lang auch immer die Mühle innerhalb ihrer Minimal- und Maximalgrenzen sein mag. Die Skefko Ball Bearing Co., deren Lager auf Abb. 8 (Seite 1019) gezeigt ist, montieren ihre Walzenlager fern vom Antriebsende der Mühle auf drei stählerne Parallelkanten, die sich jeder verschiedenen axialen Verschiebung anpassen, welcher Art auch immer zu gegebener Zeit die Aenderungen der Mühlen-temperatur sind. Diese Stahlstücke bilden die Form eines umgekehrten V, dessen Bodenfläche gekurvt ist und einen Radius besitzt, der der normalen vertikalen Höhe des V entspricht, in welcher Stellung auch immer sich die Kanten zwischen den vorgeschriebenen Grenzen befinden mögen. Die Achsenhöhe ist konstant. Die Walzenlager an beiden Enden, die keinen axialen Spielraum erlauben, sind kugelförmig so, dass jede einzelne Walze immer die volle Belastung aufnimmt, wie auch immer die Mühlenstellung ist.

Bei den schwereren Mühlenaggregaten ist die Vorrichtung zum Lagern an drei Stellen, wie es von Timken auf Abb. 9 (Seite 1021) und von Skefko auf Abb. 10 (Seite 1022) gezeigt wird, vorgesehen, wobei das Triebende in einem Walzenlager vom Kugeltyp ruht und das andere Ende auf Laufrollen. Jeder Aenderung der Mühlenlänge wird entsprochen durch die Toleranz des Laufrings, der die Mühle umgibt, um auf den Walzen zu gleiten. Die Timken Roller Bearing Co. (Vereinigte Staaten) konstruiert ihre Lager am Antriebsende derart, dass die Lagerkonusse auf den Zapfen gepresst werden, und die Fusslager sind im äusseren Gehäuse montiert. Das Gehäuse ist rund und sitzt in einer schwachen Vertiefung des Fusstücks, wodurch das Ganze sich selbst einstellt. Abb. 11 (Seite 1023) zeigt ein Timken-Lager.

Eine andere Vorrichtung für grosse Mühlen mit Zentralantrieb sieht zwei Walzenlager vor, die an beiden Enden am Wellenzapfen montiert sind. Diese Anordnung hat sich bei den grössten Mühlen als eine wirtschaftlichere Lösung herausgestellt als ein einziges Lager von ausreichender lasttragender Leistungsfähigkeit anzubringen. In solchem Falle ist es wesentlich, dass die Last gleichmässig zwischen beiden Lagern verteilt wird. Das wird dadurch erreicht, dass das Lagergehäuse auf einer leicht kugelförmigen Platte aus gehärtetem Stahl mit Kugellagern ruht. Sollte eines der Lager weniger als das andere belastet sein, so wird der Ueberdruck auf das letztere verursachen, dass das Gehäuse an dieser Seite heruntergedrückt wird. In diesem Falle verteilen die Lager infolge ihrer Fähigkeit zur Selbstausrichtung die Last automatisch unter sich.

Es ist bei entsprechenden Walzenlagern notwendig, die Lager gegen das Eindringen von Fremdstoffen abzuschliessen, und dieses wird wirksam herbeigeführt dadurch, dass man zwei Abschlussplatten hat, die so konstruiert sind, dass sie eine Labyrinthdichtung bilden, welche den Eintritt von Staub oder aber den Austritt von Schmiermitteln verhindert. Die Schmierung wird durch ein zirkulierendes Oelsystem bewirkt, das unter Druck arbeitet und

Oelfilter sowie Kühlvorrichtung im Kreislauf enthält so, dass eine ständige Zufuhr von reinem, kaltem Oel immer gesichert ist. Zum Abschliessen der Labyrinthdichtung wird ein Spezialfett verwendet.

Ein Beispiel für die Anwendung von Walzenlagern bei einer Verbundmühle bietet sich in Südengland, wo die beiden Stützwalzen 1927 mit „Skefko“-Lagern ausgerüstet wurden. Das Gesamtgewicht der Trommel, der Mahlkörper und des Materials beträgt 60 t und die Belastung per Lager 13.500 kg. Diese Mühle ist bei einem Durchmesser von 2,15 m 9,75 m lang; die Walzen, die 7 m vom Lager an der Antriebswelle angebracht sind, besitzen einen Durchmesser von 76 cm bei einer Breite von 27,5 cm.

In den Vereinigten Staaten lässt sich auf einer in Pennsylvanien belegenen Zementfabrik, die Verbundmühlen mit Timken-Lagern besitzt, ein Beispiel anführen. Diese Mühlen, von denen die eine Rohmaterial und die andere Klinker mahlen, haben am erweiterten Ende einen Durchmesser von 2,75 m und im zylindrischen Teile einen solchen von 2,44 m bei einer Länge von 11,60 m. Jede Mühle, die durch einen 1100 PS starken Motor getrieben wird, wiegt 92 t und enthält eine Charge von 90 t Mahlkörpern. Die beiden Walzenlager am Kopfende jeder Mühle besitzen einen Durchmesser von 1,22 m bei einer Breite von 61 cm. Die Walzenlager haben eine lichte Weite von 40,6 cm und einen äusseren Durchmesser von 67,3 cm. Man schätzt, dass jedes Lager eine Last von etwa 27.216 kg trägt.

(Fortsetzung folgt.)

Die vorhergehenden Artikel dieser Abhandlungsreihe sind in den Ausgaben vom November 1930, Januar, Februar, April, Mai und Juli 1931 erschienen.

ANMERKUNG DER SCHRIFTFLEITUNG.

DER Herausgeber der internationalen Zeitschrift „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“ fordert die Leser dieser Zeitschrift auf, ihm Artikel zur Veröffentlichung zur Verfügung zu stellen. Das Manuskript kann in englischer, französischer, deutscher oder spanischer Sprache eingereicht werden und wird in die drei anderen Sprachen durch Fachleute übersetzt.

Es werden Abhandlungen erbeten über alle neuen Gedanken oder Entwicklungen in der Herstellung, Chemie oder Prüfung von Zement oder über verwandte Themata, die für die Zementindustrie von allgemeinem Interesse sind. Beschreibungen und Ansichten neuer, in allen Teilen der Welt errichteter Zementfabriken sind ebenfalls willkommen.

Die Hersteller von Zementmaschinen sind ebenfalls aufgefordert, Mitteilungen und Ansichten zur Verfügung zu stellen, welche sich auf neue von ihnen erbaute Werke und Neueinrichtungen ihrer Fabriken beziehen. Derartige Beiträge sind eingeschrieben zu senden an den Herausgeber von „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“, Dartmouth Street 20, Westminster, London, S.W.1 (England).



Normas alemanas para los cementos.

RECIENTEMENTE se ha publicado un plan revisado de análisis químicos, destinado a ser usado en combinación con las nuevas Normas alemanas para los cementos normales. El comité a quien fué encargada dicha labor estaba formado por los profesores Burchartz, Grün, y Guttmann, y los doctores Haegermann y Luftschitz. Damos a continuación un resumen de dicho plan en la parte que tiene aplicación al cemento Portland:

I. Introducción.—Deben hacerse las siguientes determinaciones: (1) Pérdida al fuego; (2) Residuo insoluble; (3) Sílice soluble; (4) $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mn}_2\text{O}_3$, designado para mayor concisión por R_2O_3 ; (5) CaO ; (6) MgO ; (7) SO_3 . Los análisis pueden completarse con la determinación de (8) Al_2O_3 ; (9) Fe_2O_3 ; (10) Manganeso; (11) Azufre de sulfuros; y (12) Alcalis.

II. Extracción de muestras y tratamiento preliminar.—La muestra en bruto se revuelve y mezcla bien, separando luego una muestra media de 100 a 200 g.; de ella se eliminan las partículas de hierro por medio de un potente electro-imán y se anota su peso. Después se hace pasar la muestra por un tamiz de 900 mallas por cm^2 de tipo normal.

III. Concentración de las soluciones.— HCl concentrado, peso específico 1,19, aprox. 38 por ciento.

HCl 1:1, peso específico 1,10, aprox. 20 por ciento.

HCl diluido, 1:10.

Ácido acético diluido. 1 parte de ácido acético glacial por 3 partes de agua.

NH_4OH concentrado, peso específico 0,925, aprox. 18 por ciento.

NH_4OH 1:1 peso específico 0,96, aprox. 10 por ciento.

Agua amoniacal, conteniendo aproximadamente un 2,5 por ciento de NH_3 .

Solución de nitrato amónico amoniacal, 10 g. de nitrato amónico + 2 cm^3 de amoniaco concentrado por litro.

Agua de bromo. Solución saturada en frío, conteniendo aproximadamente 13 cm^3 de bromo por litro.

Solución de Na_2CO_3 . 50 g. de Na_2CO_3 por litro.

Oxalato amónico diluido. 10 g. $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ por litro.

Solución de fosfato amónico. 100 g. $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ por litro.

Solución de BaCl_2 . 100 g. de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ por litro.

Solución de AgNO_3 . 1,70 g. de AgNO_3 por litro (aproximadamente N/100).

Solución comercial al 3 por 100 de peróxido de hidrógeno.

Permanganato para la valoración del oxalato cálcico. 5,637 de KMnO_4 puro por litro. $1 \text{ cm}^3 = \text{aprox. } 10 \text{ mg. de CaO}$. Normalizar como más abajo.

Esta solución se normaliza a base de oxalato sódico Sorensen.

Solución reguladora de permanganato. 0,2229 g. de KMnO_4 puro, completando el litro con agua recién hervida. $1 \text{ cm}^3 = 0,00010 \text{ g. de MnO}$.

Solución de tricloruro de titanio para la determinación del hierro.

(a) Solución de reserva. Solución comercial del 15 por ciento aproximadamente. Cada vez que el frasco que la contiene sea destapado el aire tiene que ser reemplazado por CO_2 antes de volverlo a sellar.

(b) Solución de valoración. La solución de reserva de TiCl_3 se diluye en igual cantidad de HCl concentrado (de peso esp. 1,19), y se completa hasta 40 veces el volumen de la primitiva solución de TiCl_3 añadiendo agua recién hervida. $1 \text{ cm}^3 = 2 \text{ mg. de Fe}_2\text{O}_3$. El frasco donde se conserve debe mantenerse lleno de CO_2 .

La solución de TiCl_3 se contrasta con una solución de sal férrica de valoración conocida antes de cada serie de las determinaciones del hierro. Un gramo de FeO_3 puro se disuelve en HCl y se completa hasta 1 litro. Diez $\text{cm}^3 (=10 \text{ mg. de Fe}_2\text{O}_3)$ se toman, y se acidifican con HCl o con H_2SO_4 , se agregan unas gotas de sulfocianato amónico (100 g. por litro) y la solución se valora por medio del TiCl_3 .

Pérdida al fuego.—Se calientan dos gramos de cemento en un crisol de platino tapado, durante dos o tres minutos a poca llama, y luego durante diez minutos en un horno a 1.000 grados C.

Sílice + residuo insoluble.—Se mezcla un gramo de cemento con 10 cm^3 de agua en una cápsula de 300 cm^3 . Se le mezclan revolviendo bien 25 cm^3 de HCl (1:1), y una vez que ha tenido lugar completamente la reacción de descomposición en la cápsula, se evapora a sequedad sobre baño María. En frío se añaden luego 25 cm^3 de HCl (1:1) y se deja reposar durante 15 minutos. Se diluye hasta 75 cm^3 , se calienta durante media hora sobre una plancha calentada con vapor y se filtra. Después se lava, al principio con agua, acidulada con 50 cm^3 de HCl concentrado por litro, y luego con agua destilada.

Se evapora el filtrado a sequedad y se calienta durante una o dos horas a 120-130 grados C. Se deslíe en HCl y se sigue el tratamiento como antes. Finalmente se queman los dos filtros sobre platino.

Hierro + alúmina + manganeso.—El filtrado procedente de la determinación de la sílice es evaporado hasta que se reduce a 150 cm^3 , y calentado hasta la ebullición. Se le agregan 10 cm^3 de agua de bromo y luego 1 g. de nitrato amónico sólido. Se precipita con amoniaco diluido echado gota a gota hasta conseguir un ligero exceso, manteniendo la temperatura en el punto de ebullición para toda la masa. Se filtra en caliente y se lava seis veces con solución diluida hirviendo de nitrato amónico amoniacal. Disuélvase después el precipitado en HCl (1:5), complétese hasta los 150 cm^3 con agua y precipítese de nuevo. Quémese sobre platino.

Cal.—El filtrado procedente de los R_2O_3 se concentra hasta 300 cm^3 . Se le agregan unas gotas de ácido acético y se calienta hasta los 90 grados C. Se añaden 3 g. de oxalato amónico sólido y exceso de amoniaco y se hierve durante cinco minutos, agitando constantemente. Déjese reposar el precipitado en un sitio caliente y fíltrese. Lávese con agua de oxalato amónico caliente hasta que unas gotas del filtrado evaporadas y cálcinadas sobre una chapita

de platino no dejen residuo alguno. Quémese el filtro sobre platino y calcínese hasta peso constante. El oxalato cálcico puede también ser evaluado por valoración con permanganato.

Magnesia.—El filtrado de la determinación de la cal se concentra hasta los 300 cm³, se enfría y se le agregan 10 cm³ de solución de fosfato amónico y un tercio de su volumen de amoníaco concentrado. Agítese bien, déjese reposar cuando menos 18 horas, y fíltrese, lavando con amoníaco frío. (1:3). Calcínese cuidadosamente en porcelana. La magnesia se pesa como Mg₂P₂O₇, empleándose el factor 0,3621 para calcular la MgO.

Residuo insoluble.—Deslíanse 2 g. de cemento en 100 cm³ de agua, en una cápsula de 400 cm³. Añádanse 50 cm³ de HCl (1:1) agitando en frío. Calientese rápidamente, fíltrese en caliente y lávese con agua caliente. (Filtrado A). Desintégrese el filtro con 50 cm³ de solución de Na₂CO₃ al 5%, desmenuzándolo con un agitador o varilla de vidrio. Hiérvase y fíltrese en caliente. Lávese para eliminar el álcali: (1) con agua caliente, (2) con HCl caliente, muy diluido, (3) con agua caliente. Séquese, y calcínese sobre porcelana.

El filtrado A se emplea para la determinación del SO₃ y del Fe₂O₃. Se evapora hasta sequedad y la SiO₂ es separada como para la evaluación de la SiO₂. El filtrado de la SiO₂ es completado en frío hasta los 250 cm³ en frasco de tipo normal. De él se toman cien cm³ para la determinación del SO₃ y otros tantos para la del Fe₂O₃.

Anhidrido sulfúrico.—Se hierven en un vaso de precipitados cien cm³ de la anterior solución, añadiendo 10 cm³ de solución hirviente de BaCl₂. El vaso de precipitados se tapa y se deja en un lugar caliente durante 2 ó 3 horas. Después de reposar durante 18 horas se decanta el líquido que sobrenada, echándolo a través de un filtro, y el precipitado se calienta varias veces con pequeñas cantidades de agua que contengan unas gotas de HCl, decantando después de un corto período de reposo. El precipitado finalmente se lava sobre el filtro y se enjuaga con HCl sumamente diluido. El filtro es quemado y calcinado y se pesa el BaSO₄. Mediante el factor 0,343 se computa el SO₃.

Oxido férrico.—Los 100 cm³ de filtrado A requeridos para esta determinación se colocan en un frasco cónico de 250 cm³. Se añaden 5 cm³ de solución de H₂O₂, y el exceso se elimina por ebullición. Al hervir se añaden 10 cm³ de HCl y unas gotas de sulfocianato amónico, valorándose el líquido con solución tipo de TiCl₃.

Alúmina.—Usualmente se evalúa por diferencia. Por si se desea se dan detalles del método gravimétrico de determinación en forma de AlPO₄.

También se dan detalles muy completos de los métodos indicados para determinar el manganeso, el azufre de sulfuros y los álcalis.

Aviso.

Todos los artículos publicados en "CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE" en cualquier idioma, son de absoluta propiedad, y no pueden reproducirse en otras revistas, ni en forma de catálogos, sin el permiso de los propietarios, Concrete Publications, Limited, 20, Dartmouth Street, Westminster, London, Inglaterra.

Importancia del análisis químico para la determinación de la composición racional del cemento Portland.

por O. F. HONUS.

UN análisis racional permite averiguar las proporciones en que entran los diferentes componentes hidráulicos en el cemento Portland. Según sea el grado de distribución de los elementos componentes pueden hacerse deducciones relativas a la calidad y propiedades del cemento Portland. En los ejemplos que damos a continuación podrá apreciarse cuánta importancia tiene el análisis químico para la determinación de la composición racional del cemento Portland.

Ejemplo 1.—Un cemento Portland tiene la siguiente composición química: CaO, 62,20%; MgO, 2,20%; SiO₂, 21,40%; Al₂O₃, 6,20%; y Fe₂O₃, 3,40%. Admitiremos que toda la sílice se halla combinada, y que no existe cal libre. A base de esta hipótesis, se obtiene inmediatamente, expresado en moléculas-gramo (moles):

$$\begin{aligned}
 \text{CaO} &= \frac{65,20}{56,07} = 1,1529 \text{ moles.} \\
 \text{MgO} &= \frac{2,20}{40,32} = 0,05458 \text{ moles.} \\
 \text{SiO}_2 &= \frac{21,40}{60,06} = 0,3563 \text{ moles.} \\
 \text{Al}_2\text{O}_3 &= \frac{6,20}{101,94} = 0,06082 \text{ moles.} \\
 \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{3,40}{159,68} = 0,021292 \text{ moles.}
 \end{aligned}$$

El paso siguiente del cálculo se efectúa estableciendo una tabla; disponiendo en la primera línea de la misma los elementos componentes, y en la segunda las cantidades de los mismos en moles. En la tabla I (véase pág. 992) la última columna da los moles de los compuestos, y la quinta línea son las diferencias.

El cálculo se efectúa como sigue: el óxido de hierro, en las condiciones en que se efectúa la cocción del cemento Portland, entra en dicho cemento en forma de ferrito dicálcico (2CaO.Fe₂O₃). La fórmula indica, al mismo tiempo, que un mol de ferrito dicálcico se compone de un mol de Fe₂O₃ y dos moles de CaO. Por consiguiente, a 0,021292 moles de Fe₂O₃ corresponderán también 0,021292 moles de 2CaO.Fe₂O₃, y a 0,021292 × 2 = 0,042584 moles de CaO. Estas cifras se incluyen en la tabla.

En el cemento Portland, la alúmina se encuentra en forma de aluminato tricálcico, 3CaO.Al₂O₃. Un mol de aluminato tricálcico contiene 1 mol de Al₂O₃ y 3 moles de CaO. 0,06082 moles de Al₂O₃ corresponderán, por consiguiente, a 0,06082 moles de 3CaO.Al₂O₃, que contendrán 0,06082 × 3 = 0,18246 moles de CaO. Estos valores se pasan también a la tabla.

En los cementos Portland altos en alúmina, es decir, en los que contienen más de un 10% de Al₂O₃, la alúmina se encuentra en compañía del óxido de hierro, formando ferrialuminato tetracálcico (4CaO.Fe₂O₃.Al₂O₃), y es necesario tener presente este compuesto cuando de tales cementos se trata.

El óxido magnésico se supone que entra en el cemento Portland en forma de silicato dimagnésico ($2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$). 1 mol de $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ se compone de 2 moles de MgO y 1 mol de SiO_2 . A 0,05458 moles de MgO corresponderán, por consiguiente, 0,02729 moles de $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ y 0,02729 moles de SiO_2 . La inclusión de estos valores en la tabla se efectuará lo mismo que la de los correspondientes a los óxidos de hierro y de aluminio.

Los 0,042584 moles de CaO del $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, más los 0,18246 moles de CaO del $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ se restan ahora del CaO total; y de la misma manera se restan del SiO_2 total los 0,02729 moles de SiO_2 del $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$, obteniendo así: 0,927856 moles de CaO , y 0,329010 moles de SiO_2 , presentes en forma de silicatos dicálcico y tetracálcico.

El cálculo de estos dos componentes se efectúa como sigue: Partimos primero de la sílice, admitiendo que dicha sílice se halle distribuida por mitades entre el silicato dicálcico y el silicato tricálcico. Se obtiene así:

$$0,329010 \text{ moles de } \text{SiO}_2 : 2 = 0,164505 \text{ moles de } \text{SiO}_2 \text{ para el } 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \\ \text{y } 0,164505 \text{ moles de } \text{SiO}_2 \text{ para el } 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$$

A estos corresponden:

$$0,329010 \text{ moles de } \text{CaO} \text{ al } 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \\ \text{y } 0,493515 \text{ moles de } \text{CaO} \text{ al } 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$$

$$0,822525 \text{ moles de } \text{CaO}.$$

Obtenemos, pues, así, 0,822525 moles de CaO . La diferencia o cantidad de cal todavía disponible es de 0,927856 moles de CaO . En la hipótesis de que no existe, según ya se ha dicho, nada de CaO libre, encontraremos el residuo de cal, combinado en forma de silicato tricálcico, y hallaremos como cal residual 0,105331 moles de CaO . Esta tiene que ser restada de la sílice del silicato dicálcico, y agregada a la sílice del silicato tricálcico, lo cual nos dará:

$$0,164505 - 0,105331 = 0,059174 \text{ de } \text{SiO}_2 \text{ en forma de } 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \\ = 0,118348 \text{ CaO en forma de } 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \\ \text{y } 0,164505 + 0,105331 = 0,269836 \text{ de } \text{SiO}_2 \text{ en forma de } 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \\ = 0,809508 \text{ de } \text{CaO} \text{ en forma de } 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2.$$

Así, pues, para el silicato dicálcico se han hallado 0,059174 moles, y para el silicato tricálcico 0,269836 moles. Pasando estos valores a la tabla, y restándolos de la cal diferencial y de la sílice diferencial, se obtiene así cero de CaO y cero de SiO_2 .

Expresado en tantos por ciento, se obtiene para cada uno de los diferentes compuestos:

$2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	...	...	0,021292 moles \times 271,82 = 5,80%
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	...	...	0,06082 moles \times 270,15 = 16,40%
$2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	...	...	0,02729 moles \times 140,70 = 3,83%
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	...	...	0,059174 moles \times 172,20 = 10,20%
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	...	...	0,269836 moles \times 228,27 = 61,67%

Nada cabría objetar al resultado obtenido por el método que dejamos expuesto, si el análisis fuera exacto. Pero falta la determinación del SO_3 , que suele acompañarlo, los álcalis, la pérdida al fuego, que puede ser debida al CO_2 , al H_2O y aun tal vez también a pequeños residuos de combustible sin quemar; y además falta la determinación de la sílice soluble, que representa sílice combinada con la cal, y la determinación de la sílice insoluble, que viene a representar la sílice no combinada; falta también, finalmente, la determinación de la cal libre. Consecuencia de todo esto es que el cálculo precedente sólo da cifras aproximadas.

Ejemplo 2.—En el ejemplo 2 nos basaremos en el análisis elemental del mismo cemento. La composición del cemento en cuestión es la siguiente:

CaO	..	...	65,20%	(64,05% CaO combinado 1,15% CaO libre
MgO			2,20%	
SiO ₂	.	.	21,40%	(21,04% SiO ₂ combinado 0,36% SiO ₂ libre
Al ₂ O ₃	.	.	6,20%	
Fe ₂ O ₃	.	.	3,10%	
SO ₃	.	.	0,40%	
K ₂ O	.	.	0,40%	
Na ₂ O	.	.	0,40%	
CO ₂	...	..	0,40%	

El resultado del cálculo puede observarse en la tabla II. En dicha tabla (véase pág. 995) conviene notar lo siguiente: Los moles de CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ son los mismos que figuraban en la tabla I, sin variación de ninguna clase. En la tabla II, la tercera fila de cifras, empezando por abajo, expresa las diferencias. Las cifras añadidas nuevamente son:

$$\begin{aligned} \text{SO}_3 &= \frac{0,40}{80,07} = 0,004995 \text{ moles SO}_3 \\ \text{K}_2\text{O} &= \frac{0,40}{94,20} = 0,004246 \text{ moles K}_2\text{O} \\ \text{Na}_2\text{O} &= \frac{0,40}{62,00} = 0,006460 \text{ moles Na}_2\text{O} \\ \text{CO}_2 &= \frac{0,40}{44,00} = 0,009090 \text{ moles CO}_2 \end{aligned}$$

El SO₃ se encuentra en el cemento Portland, combinado con la cal, formando CaSO₄ (1 mol de CaSO₄=1 mol de CaO+1 mol de SO₃). 0,004995 moles de SO₃ corresponden a 0,004995 moles de CaSO₄ y a 0,004995 moles de CaO.

A base de la hipótesis de que los álcalis pueden ser considerados como vitrificadores, es conveniente introducirlos en el cálculo como una masa vítrea, cuya composición es 3SiO₂.Na₂O.CaO, y 3SiO₂.K₂O.CaO. Para el Na₂O se obtienen 0,00646 moles; a ellos corresponden 0,00646 moles de 3SiO₂.Na₂O.CaO, 0,00646 moles de CaO, y 0,01938 moles de SiO₂. Para el K₂O se obtienen 0,004246 moles, a los que corresponden 0,004246 moles de 3SiO₂.K₂O.CaO, 0,004246 moles de CaO, y 0,012738 moles de SiO₂.

Después de restar las fracciones parciales de cal de la cantidad total de cal, y las fracciones parciales de sílice de la cantidad total de sílice, teniendo, desde luego, en cuenta, la cal libre y la sílice libre, se obtienen 0,872465 moles de CaO, y 0,290892 moles de SiO₂, como diferencia, que se hallan en forma de silicatos dicálcico y tricálcico. Se observa que la proporción del CaO al SiO₂ es casi de 3:1, por lo cual, la mayor parte debe ser silicato tricálcico.

Para el resto del cálculo, se procede como en el ejemplo 1.

0,290892: 2

$$\begin{aligned} &= 0,145446 \text{ moles de SiO}_2 \text{ en forma de } 2\text{CaO.SiO}_2 \times 2 = 0,290892 \text{ CaO} \\ &0,145446 \text{ moles de SiO}_2 \text{ en forma de } 3\text{CaO.SiO}_2 \times 3 = 0,436338 \text{ CaO} \end{aligned}$$

$$0,727230$$

$$\text{Cal diferencial } 0,872465 \text{ moles} - 0,727230 = 0,145235 \text{ moles}$$

$$\begin{aligned} &0,145446 \text{ moles} - 0,145235 = 0,000211 \text{ moles SiO}_2 \text{ en forma de } 2\text{CaO.SiO}_2 \\ &\text{y } 0,145446 + 0,145235 = 0,290681 \text{ moles de SiO}_2 \text{ en forma de } 3\text{CaO.SiO}_2 \end{aligned}$$

0,000211 moles de $\text{SiO}_2 \times 2 = 0,000422$ moles de CaO en forma de $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

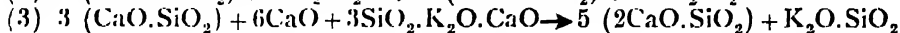
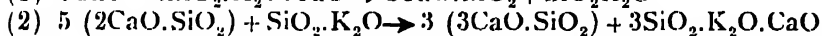
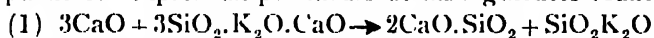
0,290681 moles de $\text{SiO}_2 \times 3 = 0,872043$ moles de CaO en forma de $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

Introduciendo los valores en el silicato dicálcico y en el silicato tricálcico, se obtienen 0,000211 moles de $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ y 0,290681 moles de $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, así como cero de CaO y cero de SiO_2 .

Expresado en tantos por ciento, da:

Para CaCO_3	0,00909 $\times 100 = 0,91\%$
„ $3\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO}$	0,00646 $\times 298,25 = 1,93\%$
„ $3\text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{CaO}$..	0,004246 $\times 330,45 = 1,40\%$
„ CaSO_4	0,004995 $\times 136,14 = 0,69\%$
„ $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	0,021292 $\times 271,82 = 5,79\%$
„ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	0,06082 $\times 270,15 = 16,52\%$
„ CaO libre	0,0206 $\times 56,07 = 1,15\%$
„ $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	0,02729 $\times 140,70 = 3,84\%$
„ SiO_2 libre	0,00600 $\times 60,06 = 0,36\%$
„ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	0,000211 $\times 172,20 = 0,36\%$
„ $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	0,290681 $\times 228,27 = 66,40\%$

Del ejemplo 2 hay que deducir que, a causa de la introducción de los álcalis, ha aumentado la proporción de silicato tricálcico (alrededor de un 4%), y que la proporción de silicato dicálcico ha quedado disminuida casi en un 10%. Los álcalis favorecen la formación de silicato tricálcico, debido a que requieren una gran parte de la sílice para transformarse en materia vítrea. Podría también admitirse que la masa vítrea ejerce una acción catalítica, que favorece hasta cierto punto la formación del silicato dicálcico, y que, una vez logrado el equilibrio, estimula, mediante una transformación regresiva, la formación de silicato tricálcico; su acción es, pues, doblemente catalítica. Esta hipótesis puede ser expresada por medio de las siguientes ecuaciones:



Como conclusión de lo que precede, debe ser investigado el valor del análisis racional para juzgar de la calidad de los cementos Portland industriales, especialmente, sobre todo, para ver hasta qué punto pueden deducirse consecuencias relativas a las resistencias a la compresión. A este fin, fueron ensayados químicamente once cementos en el Instituto de la investigación de silicatos de Brünn, por O. Kallauner¹ y sus colaboradores J. Simáne, S. Seidl e I. Alejnikow, ensayándose después con arreglo a las disposiciones mecánicas de las normas por S. Skoumal, con objeto de calcular su composición racional. Hay que notar que los álcalis y la cal libre no fueron determinados, y por consiguiente, no han podido ser tenidos en cuenta en el cálculo de la composición racional.

Los análisis químicos de los once cementos, sus módulos hidráulicos, sus módulos de silicatos, sus residuos sobre el tamiz de 4900 mallas, y sus resistencias a la compresión (1:3) a los 2, 7 y 28 días de conservación en agua, así como también a los 28 días de conservación combinada, se encuentran en la tabla III (véase pág. 997).

La composición racional calculada para estos once cementos se halla contenida en la tabla IV (véase pág. 998). En la fig. 1 (véase pág. 999) están inscritas las resistencias a 2, 7 y 28 días de conservación en agua, así como a 28 días de conservación combinada, y la proporción calculada de silicato tricálcico para

¹ O. Kallauner, "Composición química y propiedades normales de los cementos del país." Stavivo, No. 6, p. 147, y No. 7, p. 185, 1929.

los cementos correspondientes. Debajo se encuentran representados gráficamente los residuos al tamiz.

La fig. 1 permite observar, en primer lugar, que en el cemento 2, a pesar del crecimiento de la dosis de silicato tricálcico, la resistencia es menor que en el cemento 1. Esta disminución de resistencia podría ser atribuida a que las fracciones gruesas, que forman aproximadamente un 10% o algo más, no se hallan completamente hidratadas, y no participan del endurecimiento. El cemento 3 aumenta de resistencia, de acuerdo con la dosis creciente de silicato tricálcico. El cemento 4 presenta de nuevo un descenso de resistencia, que en parte es atribuible a la fracción gruesa, que se eleva aproximadamente a un 10%, y en parte a la baja proporción de aluminato tricálcico y a la alta dosis de silicato dicálcico, que puede ser considerado como un elemento debilitador. El cemento 5 vuelve a presentar un aumento de resistencias, en correspondencia con la dosis creciente de silicato tricálcico. En el cemento 6 desciende otra vez la resistencia, a pesar de aumentar la dosis de silicato tricálcico. Para explicar el descenso de resistencia en este cemento no basta aducir la elevada dosis de yeso (3,87%), si bien no es imposible que esto pueda en cierta medida retardar el aumento de las resistencias. Probablemente, debía existir algo de cal libre, que no fué tenida en cuenta. El cemento 7 presenta también, asimismo, una caída de resistencia, que en gran parte debe ser atribuida a la fracción de grano grueso que contiene (10% sobre el tamiz de 4900 mallas), y parcialmente también a la elevada dosis de silicato dicálcico que obra como elemento debilitador, así como a la pequeña dosis de aluminato tricálcico. El cemento 8 acusa un aumento de resistencia de 55 kg. por cm^2 sobre el cemento 5, en el caso de conservación en agua; en el ensayo con conservación combinada, sin embargo, presenta una pérdida de 11 kgs. Hay que buscar la causa de tal variación en la diferente proporción existente entre el $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ y el $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, y en el residuo sobre el tamiz, que es un 1% más alto que en el cemento 5 (5% contra 6%). Los cementos 9 y 10 presentan, en correspondencia con el aumento del silicato tricálcico, una elevación de resistencias. El cemento 11 ofrece un pequeño descenso de resistencia a los 28 días de conservación combinada, que puede ser atribuido al residuo al tamiz algo mayor, y a la dosis de aluminato tricálcico algo más baja, si bien en el caso de conservación en agua acusa 30 kg. por cm^2 más que el cemento 10. Aparece aquí el mismo fenómeno que en el caso de los cementos 5 y 8.

La hipótesis de que, al crecer la dosis de silicato tricálcico, aumentan las resistencias a la compresión, puede verse confirmada en el caso de conservación combinada a 28 días y entre los once cementos técnicos estudiados en seis de ellos; en el caso de conservación en agua, y a los 28 días, en siete de ellos. También pudo ser confirmada en tres de los cementos la regla de que los mayores residuos al tamiz corresponden a mayores descensos en las resistencias.

Resumen.

1. El análisis racional puede servir para juzgar acerca de los cementos Portland.

2. Para el cálculo del análisis racional, es indispensable un análisis elemental, que comprenda todos los elementos componentes del cemento. Así es que, en dicho análisis químico, será necesario buscar los elementos siguientes: SiO_2 combinado, SiO_2 libre, cal combinada, cal libre, trióxido de azufre, azufre de sulfuros, SO_2 si es preciso, y además CO_2 , MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O y Na_2O . Como el K_2O y el Na_2O pueden ser considerados como vitrificantes, es conveniente computarlos en la masa vítrea, cuando se hace el análisis racional.

3. Es de gran importancia, para el juicio relativo a un cemento Portland,

basado en la composición racional del mismo, el residuo al tamiz que tiene que ser tenido en cuenta junto con los demás datos, así como la relación entre los compuestos $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$; $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$; $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$; $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$; y finalmente, la relación $2\text{CaO}.\text{SiO}_2 : 3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$.

4. No es imposible que, a base de la composición racional del cemento Portland y mediante investigaciones de precisión, se contribuya a poner en claro la dependencia y la influencia que sobre el silicato tricálcico tengan el silicato dicálcico y el aluminato tricálcico.

Efecto de la temperatura sobre el tiempo de fraguado del cemento Portland.

por F. WHITWORTH.

Al progresar los cementos de gran finura de molido se ha ido poniendo atención al efecto del calor sobre el tiempo de fraguado. Con objeto de obtener algunos datos sobre este particular se llevó a cabo la siguiente serie de ensayos.

Un cemento de composición normal con un 1,80% de SO_3 fué calentado a temperaturas escalonadas de 100 a 600 grados C. durante treinta minutos, permitiendo después que se enfriara al aire, electuando a continuación ensayos relativos a su tiempo de fraguado. Los resultados obtenidos son sumamente interesantes. Se registraron tres puntos de transición que iremos sometiendo a discusión sucesivamente, siguiendo el curso del proceso a partir de las temperaturas más bajas. El cemento sin calentar era de fraguado lento (principio a los 110 minutos, fin a los 190 minutos). Cuando se calentaba a los 100 grados C. no se observaba diferencia alguna en el tiempo de fraguado.

Primer punto de transición—Falso fraguado.—Cuando se calentó a 150 grados C. se observó un cambio bien definido, pues el principio del fraguado tuvo lugar a los 10 minutos; en cambio, el fin del fraguado siguió sin variación.

Como quiera que la composición del yeso experimenta una transformación cuando se le calienta a unos 110 grados C. y en cambio los otros elementos que constituyen el cemento habían sido ya calentados muy por encima de dicha temperatura, puede admitirse razonablemente que eran las cualidades del yeso las que ocasionaban aquella transformación. El yeso ($\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$) cuando es calentado a unos 110 grados C. se convierte en yeso de París ($\text{CaSO}_4.\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), cediendo una molécula y media de agua; si contiene algo de anhidrita se hallará en su variedad alfa fácilmente soluble. En esta forma continúa hasta ser calentado a unos 200° C. El yeso de París, al ser amasado, absorbe agua y fragua en un período de 5 a 15 minutos.

Este principio de fraguado del cemento que ha sido calentado es lo que ha sido designado con la denominación de "falso fraguado," que alcanza su intensidad máxima a los 10 ó 15 minutos. Después, la masa parece permanecer inerte durante un tiempo considerable, empezando después el endurecimiento lentamente de nuevo hasta el fin del fraguado. El tiempo en que tiene lugar la máxima intensidad del falso fraguado coincide aproximadamente con el llamado estado de "dureza" del yeso de París.

En otras ocasiones (abril de 1930 y julio de 1931) he indicado ya en CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, que este falso fraguado es en realidad una recristalización parcial del yeso deshidratado que contiene el cemento, posiblemente en combinación con la cal libre o compuestos altos en cal (probablemente los aluminatos), en tanto que la masa principal del cemento continua su fraguado normal.

El Profesor Kühl, en su artículo "Química teórica y práctica del cemento" publicado en el número de enero de 1931, afirma que las primeras agujas que se forman por la acción mutua entre el cemento y el agua son en algunos casos cristales de yeso. Esta observación se refería al caso de una pequeña cantidad de cemento desleído en un exceso de agua; sin embargo, tal condición no se halla muy lejos de lo que ocurre en los primeros momentos del amasado cuando se acaba de añadir el agua para dicha operación.

Mr. Anzlovar, en el número de abril de 1931, ha indicado que la anhidrita formada a las temperaturas del molino tubular (que rara vez exceden de los 180 grados C. y corrientemente se mantienen muy por debajo de esta cifra), no se disuelve con rapidez suficiente para retardar el fraguado del cemento y esto explicaría por consiguiente el falso fraguado. Por el contrario, la anhidrita formada a esta temperatura es muy soluble de manera que no puede servir para explicar el falso fraguado.

Segundo punto de transición—Fraguado rápido.—El punto siguiente de transición se observó al ser calentado el cemento a algo más de 200 grados C. El cemento, entonces presentó un fraguado verdaderamente rápido (principio del fraguado 6 minutos, fin del fraguado 10 minutos). Este punto coincide con el punto de transición del yeso calentado. Cuando éste se calienta a unos 200 grados C. se convierte en sulfato cálcico anhidro (CaSO_4). La anhidrita así formada se halla entonces en su forma beta y absorbe el agua muy lentamente. La anhidrita que se encuentra en dicha forma se disuelve con demasiada lentitud para poder ejercer influencia en el fraguado del cemento, por lo que éste recobra sus propiedades naturales de fraguado rápido.

Tercer punto de transición—Retorno al fraguado normal.—El siguiente punto de transición fué alcanzado cuando el cemento fué calentado aproximadamente a unos 500 grados C. El cemento recobró entonces su fraguado normal (principio a los 95 minutos y fin a los 200 minutos). Este punto coincide también con uno de los puntos de transición del yeso sometido a la acción del calor. Cuando se calienta piedra de yeso a unos 500 grados C. forma un sulfato cálcico anhidro fácilmente soluble en el agua. Se hace capaz por consiguiente de ejercer su influencia retardadora sobre el fraguado del cemento, que de este modo recobra sus cualidades de fraguado normal.

Los fenómenos registrados se modificarían probablemente en cementos que contuvieran dosis de yeso apreciablemente mayores o menores, pero en cambio variarían poco por causa de diferencias en la composición química. (Sólo se hace referencia a los cementos Portland en este artículo).

Resulta de estos experimentos que la anhidrita en su variedad beta (insoluble) no posee influencia retardadora sobre el fraguado del cemento. Es también evidente a juzgar por la velocidad del fraguado rápido, que para que un retardador sea eficaz tiene que ser, según toda probabilidad, rápidamente soluble. La anhidrita en su variedad alfa y el semi-hidrato cumplen con tal condición; el dihidrato también, pero en menor grado.

Si es cierta la teoría de la recrystalización del yeso deshidratado como causa del falso fraguado (y parece ser la más razonable de las que hasta ahora se han propuesto), es necesario que el sulfato cálcico conserve igual eficacia antes de la cristalización que durante o después de ella, o bien se necesita que exista todavía en solución una cantidad suficiente para retardar el fraguado. En este último caso parece que la cantidad necesaria tendría que ser sumamente pequeña. La única idea que actualmente se me ocurre es la de que el sulfato de calcio pueda actuar en parte catalíticamente.

Los experimentos registrados aquí pueden ser repetidos en cualquier laboratorio regularmente montado de una fábrica. Es preciso cuidar de que

toda la masa del cemento ensayado sea puesta a la temperatura mínima en cuestión y se mantenga en ella durante 30 minutos, pues de lo contrario se obtendrán resultados erróneos, especialmente cuando se esté cerca del punto inferior de transición. Se observó en este particular una circunstancia muy interesante: si el cemento no se calentaba durante tiempo suficiente, o si la temperatura no era suficientemente elevada, el cemento fraguaba normalmente, no presentando ni falso fraguado, ni fraguado rápido. Esto puede servir para explicar algunos hechos poco concordantes referidos por algunos químicos de fábricas emplazadas en países cálidos. Considero explicación plausible la de que el yeso se convierte parcialmente en anhidrita insoluble pero que se conserva una porción en forma de piedra de yeso; ésta aun cuando no se halla en cantidad suficiente para establecer un falso fraguado apreciable, es lo bastante para retardar el fraguado del cemento.

Convendría que estas notas fuesen leídas junto con mis dos anteriores colaboraciones en CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE sobre este mismo tema, mencionadas anteriormente.

Las fábricas del grupo Wicking.

La "Wickingschen Portland-Zement- und Wasserkalkwerke, A.G.," cuya Dirección radica en Münster, (Westfalia), comprende actualmente trece fábricas, hallándose en construcción junto al Rhin una décimacuarta fábrica, que pronto debe ser puesta en marcha; además, el grupo ha adquirido la producción de algunas otras fábricas, y finalmente, pertenecen también a él las fábricas "Hoexter-Godelheim," que han sido paradas, transfiriendo sus cupos correspondientes al reparto del sindicato a las demás fábricas de la empresa que se hallan en funcionamiento. Este intenso movimiento de concentración ha encontrado, además, elocuente expresión externa en el hecho de que de las 34 compañías independientes que en 1915 existían en Westfalia, en 1927 quedaban tan sólo 21 subsistentes.

La producción del grupo Wicking se eleva aproximadamente a:

Fábrica.	Año de la fundación.	Producción diaria (toneladas). ———	
		En el primer año de funcionamiento.	Actualmente.
Westfalia	1884	75	450
Porta	1889	18-19	—
Lengerich I	1890	—	—
Lengerich II	1897	180	400
Friedrichshorst	1898	150	1000
Büren	1899	10	675
Mark	1899	180-200	550
Grimberg	1900	10	600
Union	1900	120	300
Horstkoetter	1907	240	450
Zollern	1908	136	340
Lengerich III	1911	—	—
Klasberg	1914	75	300

La fábrica de Westfalia en Beckum.—Esta fábrica tuvo su origen en unos hornos de cal; se fusionó en 1919 con la Porta-Union, y junto con ésta fué incorporada en 1921 a las fábricas Wicking. Emplea como primeras materias caliza dura y marga caliza. La extracción y transporte de los materiales se hace por medio de palas mecánicas y un ferrocarril de vía estrecha. Para la producción de energía dispone de una caldera de tubos de humo (12 atmósferas) y máquinas "compound" de vapor con condensación; además, la fábrica posee hoy suministro de energía eléctrica por su enlace a una central que le transmite la energía a distancia.

La preparación del crudo se efectúa por vía húmeda. Por medio de una trituradora Titan el material es desmenuzado, para ser luego finamente molido en los molinos "Combinator," que lo convierten en pasta espesa: luego es conducido a los hornos por medio de bombas de pasta. La cocción tiene lugar en hornos rotatorios; el clinker que sale de los mismos es transportado a silos de hierro provistos de dispositivo automático de vaciado. El molido del clinker se efectúa por medio de molinos "Ergo" (molinos tubulares cortos con separador de aire). Los silos del cemento acabado son de hierro, poseen dispositivo de vaciado automático y van equipados con básculas automáticas. Desde ellos se cargan directamente los vagones, que circulan por vías apropiadas de enlace con la línea general.

Fábrica Porta en Porta-Westfalica.—Las primeras materias existentes en las cercanías del Weser pertenecen a la formación jurásica, y están formadas por "Muschelkalk," con capas intercaladas de marga (cemento natural) y arcilla. En las canteras se trabaja con martillos perforadores de aire comprimido, y el material arrancado es transportado en vagonetas de 1,5 m³ de capacidad, arrastradas por locomotoras que las llevan hasta la fábrica. La energía necesaria se produce en cuatro calderas de tubos de humo, de 120m² cada una de superficie de calefacción, y dos máquinas "compound" de vapor recalentado, que producen 2500 C.V. entre ambas. Para la preparación se emplean un tambor secador, dos molinos "Solo" Polysius de vía seca, disponiéndose además, de una trituradora "Titan" y silos de piedra triturada para el machacado preliminar. El crudo se cuece en cuatro hornos rotatorios, de los cuales tres tienen 2 m de diámetro por 30 m de longitud, en tanto que el cuarto es un horno "Solo" Polysius, de 74 m de longitud. Este último desemboca en una chimenea de hormigón armado, que hasta ahora ha dado excelentes resultados. Los molinos tubulares de bolas, así como un grupo tipo Krupp de trituradora preliminar y refino, sirven para la molturación del clinker. Los molinos de cemento trabajan con separador de aire. El cemento se almacena en silos de cámara de madera, desde los cuales pasa a ser envasado en barriles o en sacos, según que tenga que ser expedido por canal (enlazado con el Weser por medio de un cable) o por ferrocarril.

Fábrica Lengerich I, en Lengerich.—El crudo procede de las estribaciones occidentales del bosque de Teutoburg, y geológicamente corresponde a la formación cretácica superior, componiéndose de calizas y margas. El arranque se hace por medio de martillos perforadores neumáticos y barrenos, para los cuales se sigue el principio del arranque por pisos. El material destrozado a mano y cargado en vagonetas es transportado a la fábrica por un ferrocarril de vía estrecha.

La energía necesaria en la fábrica es suministrada por una central, que la envía a distancia por una línea de 30.000 volts de tensión, transformándose luego a 500 volts. La preparación de las primeras materias tiene lugar por vía húmeda. El material, molido en refinis tubulares (fig. 1, v. pág. 1003), es

mezclado y homogeneizado por medio de la remoción por aire comprimido en grandes recipientes, y de allí pasa directamente a los hornos rotatorios (fig. 2, v. pág. 1004). El clinker, almacenado en grandes depósitos, es conducido mediante transportadores de tornillo a los molinos de cemento, que son molinos "Ergo" y molinos de tres cámaras. El producto acabado se almacena en grandes depósitos altos de hierro, en cuya descarga inferior hay conductos que pueden ser enlazados con las máquinas ensacadoras o envasadoras automáticas transportables, que, según se desee, pueden ser aplicadas a cada silo. La carga de los vagones se hace directamente mediante carretillas especiales para sacos. La fábrica dispone, además, de una fundición propia.

Fábrica Lengerich II, en Lengerich.—Las primeras materias consisten en piedra caliza y margas de la formación cretácica. El arranque se hace, aun en la actualidad, a mano y a cielo abierto; el material arrancado es transportado a la fábrica por un ferrocarril de cable. La central de fuerza comprende cinco calderas de tubos de humo y dos máquinas de vapor "compound." Además, recibe energía eléctrica de una central exterior. La preparación del material crudo se efectúa mediante una trituradora "Titan" y molinos "Ergo" con separador de aire. Se trabaja por vía seca, y el crudo se almacena en silos. La cocción se efectúa en hornos verticales automáticos, equipados con parrillas Mannstaedt o Thiele (parrillas de rodillos y parrillas planas móviles, respectivamente). El clinker se conserva en un gran cobertizo. Empieza por ser triturado con machacadora, y luego se refina en un molino Pfeiffer y en un molino "Ergo," provistos ambos de separadores de aire. El cemento es envasado al salir de los silos en máquinas ensacadoras, o mediante un aparato de sacudidas en barriles.

Fábrica de Friedrichshorst, junto a Beckum.—La cantera de las primeras materias, correspondiente a la formación cretácica, se encuentra inmediata a la fábrica. El arranque se hace por medio de cuatro palas mecánicas, preparando previamente los barrenos por medio de martillos perforadores de aire comprimido. La primitiva instalación de fuerza, compuesta de dos máquinas de vapor de 300 y 600 c.v., ha sido considerablemente aumentada mediante una máquina de vapor de simple expansión de 2.500 c.v., y una máquina "compound" de 1000 c.v. El vapor se produce en su mayor parte en una caldera situada a continuación de los hornos rotatorios, así como también por medio de otra caldera de tubos de agua, de fuego directo, alimentada con carbón pulverizado. Dichas calderas trabajan a 15 atmósferas. En la fábrica se ha ido adoptando cada vez en mayor escala el accionamiento por motores eléctricos independientes. La corriente alterna puede ser tomada, sea de la misma fábrica, sea, en caso de avería, de una línea suministradora exterior.

Las primeras materias se preparan por medio de trituradoras "Titan," tambores secadores de contracorriente, calentados por medio de los gases de escape del horno, captadores eléctricos de polvo (fig. 3, v. pág. 1005), molinos preliminares, molinos "Ergo" con separador de aire y molinos de cámaras múltiples. Para el proceso de cocción se dispone de nueve hornos verticales automáticos y dos hornos rotatorios de 50 m. de longitud por 2,80 m. de diámetro.

El clinker se almacena en un tinglado de una capacidad de 20.000 toneladas; todos los transportes de clinker se efectúan mecánicamente. Para la molturación se emplean exclusivamente molinos de cámaras múltiples de construcción propia.

Los silos de cemento (fig. 4, v. pág. 1006), de hormigón armado, tienen una capacidad de unas 12.000 toneladas de cemento. En la actualidad el cemento

se transporta únicamente por medio de bombas Fuller-Kinyon (fig. 5, v. pág. 1007). Las modernas máquinas envasadoras permiten una capacidad horaria de trabajo de 200 sacos por operario. La fig. 6 (v. pág. 1008) representa una vista de conjunto de la fábrica.

Fábrica de Büren.—Las primeras materias consisten en margas calizas y arcillosas y piedra caliza de la formación cretácica. La piedra se transporta a la fábrica por medio de una vía suspendida y un transportador de cable. En la cantera los barrenos se perforan por medio de máquinas taladradoras de choque o rotativas. Además de las dos calderas existentes desde el principio en la central de energía, y de dos máquinas de vapor, una principal y otra auxiliar, se dispone en la actualidad de otras dos calderas y de otra máquina de vapor principal. También se cuenta con suministro de energía eléctrica, procedente de una central exterior.

La preparación se realiza por vía seca. Machacadoras, elevadores, un secador "Cummer," molinos tubulares y "Maxecon" con separador de aire caracterizan esta parte de la explotación. El crudo se moldea en prensas Dorsten, y se cuece en hornos verticales de parrilla rotatoria parcialmente automáticos. El clinker se conserva en tinglados de hormigón, de 10 m. de altura, alimentados automáticamente. Para la molturación se emplean molinos combinados. El envase del cemento se realiza por medio de básculas automáticas.

Fábrica Mark en Neubeckum.—Las primeras materias consisten en margas y calizas del senonense superior. La extracción, que al principio se efectuaba según pisos por capas horizontales, en la actualidad se realiza por medio de palas mecánicas. El material es conducido a la fábrica en vagonetes de 2,5 m³ de capacidad, arrastrados por locomotoras. La energía necesaria procede de una central eléctrica enlazada con la fábrica por medio de una línea de alta tensión; la corriente es conducida a tres transformadores de 1250 K.V.A., que reducen la tensión a 500 volts. Dos tambores secadores calentados por los gases de escape de los hornos rotatorios, de 24 m. de longitud y 2 m. de diámetro cada uno, desecan el material. Dos trituradoras "Titan" con 8 martillos cada una, y dos molinos combinados sistema Andreas, de 11 m. de longitud y 2 m. de diámetro cada uno, efectúan la trituration de las primeras materias. Para los hornos rotatorios hay un silo de diez cámaras, destinado a reserva de crudo, y el moldeo en briquetas para el material que alimenta los hornos verticales se efectúa en cinco prensas Polysius de doble molde, y en una prensa Dorsten. Se dispone de hornos Dietzsch y dos hornos rotatorios de 60 m. de longitud, con zona de clinkerización ensanchada para la cocción del material. El clinker de los hornos verticales se almacena en un tinglado de 70 x 35 m., y es transportado por medio de elevadores de cadena a los molinos de cemento. El clinker de horno rotatorio se almacena en tres torres cerradas de 13.000 toneladas de capacidad. La molturación del clinker de horno rotatorio se efectúa en dos molinos combinados, en tanto que el clinker de los hornos verticales es triturado a la finura necesaria en tres molinos preliminares y cinco refinados de bolas. Un silo de hormigón armado de 1200 toneladas de capacidad sirve para almacenar el cemento; es envasado con una ensacadora automática doble. Para el envase en barriles se dispone de dos envasadoras transportables, a las que se lleva el cemento por medio de tornillos transportadores.

Fábrica Grimberg & Rosenstein en Ennigerloh.—Se emplean como primeras materias piedra caliza, marga caliza y arcillosa de la formación cretácica. El material arrancado con explosivos se carga en grandes fragmentos sobre vagones volquete, que son conducidos a la fábrica por locomotoras. Una

caldera de tubos de humo, una de tubos de agua, tres máquinas de vapor principales y un motor Diesel producen la energía necesaria. La preparación del crudo se efectúa en seco, con machacadoras, rodillos y molinos tubulares y combinados. El crudo, almacenado en silos, es conducido para su cocción a cinco hornos rotatorios de 30 a 35 m. de longitud. El clinker se almacena en tinglados de hormigón armado de 15 m. de altura, y se muele en molinos de bolas sin tamices y con separadores de aire. El ensacado se efectúa por medio de básculas automáticas, en tanto que los barriles, colocados sobre aparatos de sacudidas, se llenan con máquinas envasadoras automáticas.

Fábrica Union, en Ennigerloh.—Esta fábrica trabaja con las mismas primeras materias que la antes descrita, pero en ella la extracción se efectúa todavía a mano. El material así obtenido es transportado a la fábrica por medio de locomotoras. Cuatro calderas de tubos de humo, de 100 m² cada una de superficie de calentamiento, dos dinamos, una máquina de vapor Hanomag de dos cilindros y otra máquina de vapor Möller de dos cilindros, producen la energía necesaria. Se trabaja por la vía seca. La preparación del crudo se efectúa por medio de una trituradora "Titan" (trituradora de martillos), dos tambores secadores, molino preliminar y refino, con separador de aire. Para el crudo hay tres silos disponibles. La cocción del clinker se realiza en tres hornos rotatorios de 30 m. de longitud y 2 m. de diámetro cada uno. El clinker se almacena en un tinglado de 8 m. de altura. La llegada y salida del material se efectúa por canalizos transportadores. Dos molinos tubulares Löhnert para el clinker y un grupo molturador Krupp, consistente en molino preliminar y refino, efectúan la molienda, a base también de un separador de aire. El cemento se almacena en seis silos; hay un vaciador de cadena, y básculas ensacadoras "Libra," que trabajan automáticamente.

Fábrica Horstkoetter & Illigens, en Beckum.—Las primeras materias consisten en piedra caliza y marga caliza, y son extraídas con pala mecánica. Un ferrocarril de vía estrecha con locomotoras conduce el material a la fábrica. La producción de fuerza se efectúa en calderas de tubos de humo, con recalentadores, y máquinas de vapor "compound" con condensación; también se dispone de energía eléctrica procedente del exterior. Esta fábrica también prepara sus primeras materias por vía seca, mediante una trituradora "Titan" y tambores secadores, calentados por medio de los gases de escape del horno rotatorio; el crudo se prepara en molinos de bolas y refinados. Los silos de mezcla para el crudo son de hormigón armado, y están contruidos según el sistema celular. La alimentación del crudo a los hornos rotatorios se efectúa en tornillos transportadores de mezcla, humedeciendo el material. La cocción del material para transformarlo en clinker se efectúa en hornos Polysius con zona de clinkerización ensanchada. El clinker se muele y transforma en cemento en molinos combinados de grandes cámaras. El envasado se realiza con el cemento que sale de silos celulares de madera, equipados con vaciado automático y las básculas correspondientes. De allí se carga directamente a mano en los vagones.

Fábrica Zollern en Neubeckum.—Las margas y calizas duras constituyen las primeras materias de esta fábrica, en la que la extracción se hace a mano, y el material desmenuzado se conduce a la fábrica por un ferrocarril de vía estrecha. La preparación se hace por vía seca. Después de la trituración preliminar, llevada a cabo en dos machacadoras de piedra, se deseca el material en dos tambores secadores, y se muele en un grupo de molino de bolas y refino tubular y en un molino combinado. El crudo destinado a los hornos verticales se moldea en cuatro prensas Polysius. La fábrica dispone, además de los tres

hornos rotatorios, de un horno anular y cuatro hornos verticales. El clinker se muele en un grupo de molino de bolas y refino tubular, y asimismo en un molino combinado. El almacén de clinker puede contener 6.000 toneladas, y los silos de cemento tienen 4.500 toneladas de capacidad.

Fábrica Lengerich III, en Lengerich.—Las primeras materias se extraen de los montes del bosque de Teutoburg, hacia la parte corresponde a sus estribaciones occidentales. Se trata de una formación cretácica superior de calizas y margas cenomanenses. El material es arrancado con explosivos, desmenuzado y conducido a la fábrica por medio de locomotoras. La explotación se hace por pisos. Toda la energía consumida en la fábrica se suministra en la actualidad desde una central eléctrica exterior, que por una línea de alta tensión (30.000 volts), la envía a la fábrica. Mediante una transformación efectuada en la fábrica, se reduce su tensión a 500 volts. La preparación de la pasta espesa se efectúa por medio de un aparato de doble rodillo y dos molinos tubulares de bolas para vía húmeda. La pasta espesa es transportada por una bomba a tres recipientes de hormigón armado; en ellos se homogeneiza, removiéndola por medio de aire comprimido. La pasta se cuece en hornos rotatorios Krupp y Humboldt. El clinker es transportado por medio de una noria o elevador inclinado al tnglado de clinker, y es molido luego en molinos combinados con carga de bolas de acero. El cemento acabado se almacena en silos de hormigón, con cuyos conductos de descarga se enlazan las máquinas ensacadoras.

Fábrica Klasberg, en Beckum.—La piedra caliza y la marga que sirven de primeras materias son extraídas con palas mecánicas, y conducidas a la fábrica por medio de locomotoras. Una caldera de tubos de humo con recalentador y máquinas de vapor "compound" con condensación, sirven para suministrar a la fábrica la energía necesaria, contándose, además, con energía eléctrica procedente de una central exterior. La preparación por vía seca se efectúa con secadores de tambor calentados a contracorriente. La trituración previa de las primeras materias se realiza en trituradoras de mandíbulas y "Titan"; el molido fino se lleva a cabo en un molino combinado. El crudo se almacena en silos celulares de hormigón armado, y se moldea en briquetas por medio de tornillos humectadores, que conducen el material a las prensas de mesa rotatoria. La cocción se efectúa en hornos verticales automáticos Grueber de parrilla rotatoria. El clinker se muele también en molinos combinados que lo convierten en cemento. El envasado comprende silos celulares de hormigón armado, de los cuales se extrae automáticamente el material.

En el año 1929 se han incorporado a la Compañía Wicking otras fábricas, que hasta entonces eran independientes. En la mayor parte de estos casos, lo que se ha hecho ha sido traspasar los cupos correspondientes a las fábricas en cuestión, concedidos por la unión de fabricantes, a otras fábricas de cemento del grupo, dejando sólo a las compañías en cuestión la producción de cal; siendo, sin embargo, compensadas por las fábricas de la Wicking, de la pérdida de fabricación del cemento.

Este grupo tan poderoso, dirigido por el Dr. ten Hompel, además de los laboratorios independientes de cada fábrica posee, desde hace varios años, un instituto propio para investigaciones, dirigido por el Dr. K. Biehl. Casi todas las fábricas de la Wicking proceden de antiguas fábricas de cal transformadas, y muchas de ellas producen todavía en la actualidad, no sólo cemento Portland, sino también cal ordinaria e hidráulica. Varias de las fábricas han empezado recientemente a fabricar cementos de alto valor y de endurecimiento rápido.

Modelo de una fábrica de cemento.

Un modelo muy completo de fábrica de cemento es el que se exhibe en la sala de exposición recientemente inaugurada en Vickers House, Westminster. El modelo en cuestión está montado en una mesa de 3,60 x 1,50 m. y está hecho a la escala aproximada de 1 : 100 reproduciendo en miniatura un proyecto de fábrica en el que se prevén futuras ampliaciones y con una capacidad de producción de 250.000 toneladas anuales. Se ha supuesto que los yacimientos de donde se extraen las primeras materias se encuentran contiguos a la fábrica, y que ésta dispone de medios de transporte por carretera, ferro-carril y vía de agua. El modelo está muy completo hasta en sus menores detalles, tales como el pararrayos y el cable de amarre de la gabarra.

Según podrá observarse en la figura (véase pág. 1026) el proyecto de fábrica en cuestión es tal que las primeras materias, caliza, carbón y yeso, así como el clinker son recogidos y distribuidos por una grúa puente que recorre el edificio en su plano superior. La maquinaria principal se compone de dos hornos de 114 m. de longitud, equipados con recuperador patentado Vickers y calentados por medio de carbón pulverizado preparado en una instalación dotada de barrido de aire. En el extremo superior de los hornos se vé una instalación eléctrica de precipitación de polvo con el fin de depurar y limpiar los gases que salen del horno. De acuerdo con la práctica moderna los molinos, de vía húmeda, y los molinos de cemento se hallan situados en una sala de molinos, y son del tipo de accionamiento central. Se han proyectado también medios neumáticos de transporte para conducir el cemento acabado de los molinos a los silos.

A continuación damos las dimensiones de los elementos principales de la fábrica: Trituradora de mandíbula oscilante, 1,829 m. por 1,219 m. Machacadora de martillos, 1,524 x 0,660 m. Molino desleidor de arcilla, 6,10 m. de diámetro. Molinos de vía húmeda, 2,134 por 12,19 m. Molinos de cemento, 2,134 por 10,973 m. Hornos de 3,658 m. en la zona de clinkerización; 4,267 m. en la zona de calcinación; 3,124 m. en el cuerpo principal y 114 m. de longitud.

Memoria de 1930 sobre la industria del cemento en España.

Por segunda vez publica la Comisión Asesora que en España regula las relaciones entre los organismos del Gobierno de la nueva República y la industria del cemento la Memoria correspondiente a las actividades desplegadas por la industria española del cemento durante el año 1930.

La producción, venta y consumo de cemento se hallan expuestos en datos minuciosamente detallados, pudiendo apreciarse la venta de Portland en cada provincia española, en la parte que corresponde a cada uno de los fabricantes. Mediante unos gráficos en colores se expresa muy claramente la producción, exportación e importación de los principales países del Globo.

Un mapa de España, en el que figuran todas las fábricas, delimita las zonas que pueden abastecerse sin que el transporte desde la fábrica a destino exceda de 20 ptas. por tonelada.

Publica, además, un curioso cuadro con las marcas de fábrica de todas las Compañías productoras de cemento, y termina con algunas fotografías de obras públicas y de la nueva fábrica de Córdoba de la Compañía "Asland."

Estudio comparativo de la industria del cemento en los Estados Unidos de America, Canadá, y el Reino Unido.—VII.

por HAL GUTTERIDGE.

Instalación de molturación.

Como los molinos usados en la molienda del crudo por vía seca y los empleados para moler el clinker tienen mucho de común, los estudiaremos juntos aquí, señalando de paso las diferencias. En los primeros tiempos el molido de un material duro desde un tamaño máximo de 37 mm. hasta la finura requerida se efectuaba invariablemente en dos fases. La primera fase, durante la cual el material era reducido a arenilla, se llevaba a cabo en un molino de bolas preliminar o de otra clase, y la segunda fase en la que el material era pulverizado hasta la finura definitiva se hacía generalmente en un refino tubular.

El molido en dos fases por medio de grupos de molino de bolas y refino tubular tenía ciertos inconvenientes, especialmente en lo relativo a la gran cantidad de mecanismos y al espacio requerido. Para solucionar estos inconvenientes se adoptó el molino "combinado" que reúne en una sola máquina la acción del molino de bolas y del refino tubular. Este tipo de molino, del que puede servir de ejemplo el molino Vickers-Armstrong (fig. 1, véase pág. 1011) es el que ahora se adopta generalmente tanto para moler crudo como para el molido del clinker y tiene tres o cuatro compartimientos. El molino combinado de diámetro uniforme se ha perfeccionado aumentando el diámetro de la sección de trituración preliminar de manera de asemejarla en lo posible al molino de bolas en el aumento de la velocidad de las bolas con relación a la que éstas tienen en el refino tubular. Se asegura que con el molino combinado de extremidad ensanchada se obtiene mejor rendimiento que con el molino de diámetro uniforme, principalmente a causa de que la primera cámara de bolas es más adecuada para preparar un producto más fino para los restantes compartimientos, conservando su elevada capacidad. La construcción de este molino con su sección cónica de enlace produce una combinación mecánicamente muy sólida de un molino de dos diámetros así como una acción más perfecta de las bolas en la cámara preliminar. En el extremo de entrada se obtiene mayor velocidad de las bolas que en el extremo de descarga de la primera cámara, donde la velocidad de las bolas se va aproximando a la que tienen en las cámaras siguientes refinadoras, en correspondencia con el tamaño relativamente menor de los granos del material junto a la descarga de la primera cámara.

En otros sectores en cambio se considera que las ventajas de rendimiento del molino de dos diámetros no compensan el coste adicional de este tipo de molino sobre el de diámetro uniforme, pensando que el problema puede resolverse satisfactoriamente con solo modificar el perfil de las placas molturadoras. El buen resultado cuando se emplean molinos combinados con tres o cuatro compartimientos depende del conocimiento, derivado de la experiencia, de cómo hay que revestir el molino en los diferentes compartimientos y cómo hay que cargarlo y con qué clase de elementos hay que equipar cada uno de ellos para cada clase de material.

Molturación en circuito cerrado.—En todos los materiales duros que han sido sometidos a molturación hay una porción del material que por su finura no requiere ya ulterior molturación, o que para llegar al necesario grado de finura requiere una cierta molturación más. En el caso de molturación en circuito abierto todo este material se hace pasar por cada una de las fases subsiguientes

del molido, dando por resultado una innecesaria absorción de potencia, siendo parte del material reducido a un grado de finura mayor que el necesario. Está comprobado que la interposición del polvo muy fino entre otros materiales de grano más grueso en el molino ocasiona un efecto como de almohadillado que retrasa considerablemente la trituración del material. En el sistema de circuito cerrado, este efecto de almohadillado se atenúa por el hecho de que en determinados puntos del proceso de molturación es arrastrado todo el material que queda reducido a tamaño inferior al correspondiente a aquella fase del molido. Si dicho material es ya de la finura definitiva requerida, no vuelve a ser introducido en el sistema para nuevas molturaciones; en cambio, todo material que aun continúe siendo más grueso que el tipo de finura establecido vuelve a ser introducido en alguna fase posterior con aquel fin. En la práctica de las fábricas de cemento, suele hacerse, con el solo fin de homogeneizar el producto, que todo el material extraído vuelva a recorrer la última fase de molturación.

Para la correcta clinkerización de las primeras materias en el horno se requieren determinadas condiciones; una de las más importantes desde el punto de vista físico es la finura uniforme del crudo. Si el material crudo a su entrada en el horno está compuesto por partículas de diferentes tamaños desde los más gruesos a los más finos, el clinker resultante se resentirá de ello, pues las partículas muy finas quedarán pasadas de cocción en tanto que las más gruesas quedarán poco cocidas. Así, pues, cualquier dispositivo que contribuya a regular el tamaño del material, atenuando aquellos extremos, tendrá efecto beneficioso. El sistema de circuito cerrado proporciona un control mucho mayor sobre la uniformidad del grado de molturación, de lo que puede conseguirse a base del circuito abierto, pudiendo aplicarse a la eliminación de las partículas ultra-finas. El Bureau of Standards de Washington ha confirmado recientemente que no ofrece ventaja alguna para la cocción el que haya fracciones de material más finas de lo que pasa por el tamiz de 14.000 mallas, por lo cual resulta importante aquella última condición.

En el Reino Unido se han reconocido las ventajas de la molturación en circuito cerrado ya en 1910, cuando se instaló en Inglaterra un molino para clinker, construido por la casa Ernest Newell & Co. El clinker se introdujo en el molino en la forma ordinaria y su producto era elevado hasta un clasificador, que separaba la porción que tenía ya grado suficiente de finura para poder pasar adelante, del resto que era devuelto al molino, donde se reunía con el clinker que entraba para su ulterior reducción. Este molino tenía una sola cámara y por consiguiente su margen de control y su economía relativa en fuerza era limitada. El perfeccionamiento de este sistema y su aplicación a los molinos combinados de tres o cuatro fases ha conducido a un control más definido sobre el tamaño uniforme del producto mediante la interposición de separadores entre cada dos fases.

En la fig. 2 (véase pág. 1012) está representado el diagrama de circulación de un modelo o ejemplo de sistema de circuito cerrado aplicado a un molino combinado de cuatro departamentos, y la fig. 3 (véase pág. 1013) representa el molino a que está aplicado, de la Casa Allis-Chalmers en los Estados Unidos. En el diagrama mencionado se observará que al fin de la primera fase la fracción demasiado gruesa es devuelta a la corriente de material que entra, con objeto de ser nuevamente molido, y la fracción inferior al tamaño del tamiz de 64 mallas por cm^2 es extraída y traspasada al separador No. 1. Desde este separador, el material más fino es enviado al separador No. 2, y la fracción gruesa pasa a la segunda fase de la molturación. La descarga de la segunda fase va al separador No. 2, y la fracción gruesa allí separada pasa de nuevo

a la tercera fase. El producto que sale de la fase No. 3 va directamente a la fase No. 4 para su reducción definitiva junto con el material fino procedente del separador No. 2, de manera que todo el material es molido junto en la última fase, con lo cual queda convenientemente mezclado y homogeneizado.

Durante los dos últimos años la molturación en circuito cerrado ha recibido gran impulso, especialmente en lo relativo a la molturación del crudo por vía seca. Se emplea no sólo en los grandes molinos combinados de varios departamentos, sino también en los diferentes modelos de molturadores preliminares independientes. La mayor parte de los molinos de vía seca que muelen según el circuito cerrado usan separadores de aire para arrastrar el polvo más fino; sin embargo, en algunos casos se instalan también con el mismo fin tamices vibratorios. En los Estados Unidos, en 1930 aproximadamente catorce compañías productoras de cemento instalaron la molturación en circuito cerrado de los materiales crudos por vía seca, con separadores de aire como clasificadores. Una de las compañías instaló un molino con barrido de aire, que es una de las formas del circuito cerrado, en la que una corriente de aire barre el interior del molino y arrastra las fracciones ultra-fina y ligeramente más gruesa que entonces se separan, siendo la porción más gruesa devuelta al molino para su nueva molturación. En el método por vía seca, en 1930 hubo tres compañías que adoptaron la molturación en circuito cerrado; dos de ellas lo empleaban en el departamento preliminar con tamices vibratorios, tan sólo como clasificadores, y la otra en la última fase del proceso, empleando agua adicional para aumentar el rendimiento de la molturación y recurriendo a espesadores o concentradores para deshidratar parcialmente la pasta después de su molido.

En comparación con los Estados Unidos y el Canadá, hay pocos ejemplos en el Reino Unido de aplicación del sistema de circuito cerrado para el crudo, pues la mayor parte de los materiales en dicho país son blandos y pueden ser reducidos a la finura requerida mediante tan sólo el empleo del molino desleidor.

Efecto del polvo de chimenea.—Además de los beneficios directos que reporta la molturación del crudo en circuito cerrado, economizando energía para una misma cantidad molida, o, contrariamente, aumentando la producción para un mismo consumo de energía, y mejorando el control de la uniformidad de tamaño del producto molido con la consiguiente mejora de las condiciones de la cocción, existe también un beneficio indirecto derivado de la cantidad de polvo que suele escapar del horno. El polvo que escapa de los hornos rotatorios está formado principalmente por material crudo que ha escapado a la cocción, y en parte también por material parcialmente calcinado; además en los hornos alimentados con carbón pulverizado dicho polvo contiene asimismo cenizas del carbón. Los dos primeros componentes citados, y el primero sobre todo, dependen esencialmente de la finura del crudo, ya que cuanto mayor es el tanto por ciento de material ultra-fino tanto mayor será la cantidad de polvo, pues cuanto más ligeras son las partículas de crudo nada o poco cocido, tanto más fácilmente serán levantadas y arrastradas por los gases. Todos los métodos que eliminan o reducen las partículas muy finas disminuirán asimismo la cantidad de polvo. La molturación en circuito cerrado proporciona mayor control en este particular y con ello da un medio para reducir la cantidad de polvo. Convendría estudiar con más detalle este asunto para averiguar para cada clase de material crudo hasta qué grado puede aumentarse el límite inferior de finura, de manera que sea compatible con la calidad del cemento, ya que cada aumento que se haga en el límite inferior de finura se reflejará en una rebaja del coste de preparación. Si con un material crudo determinado puede comprobarse que todo o la mayor parte de dicho material de tamaño menor que una dimensión determinada es

lanzado fuera del horno, sería ciertamente anti-económico permitir que dicho material recorriese el horno, ya que se desperdiciarían inútilmente calor y trabajo, aparte de lo que costaría la captación del polvo. Donde el material se encuentre en estas condiciones será más ventajoso eliminar lo más pronto posible la fracción fina del mismo, al preparar el crudo. El problema puede ser estudiado analizando el escalonamiento de tamaños en el momento de la alimentación y comparando tal análisis con el del polvo de la chimenea cuando la fracción de polvo más fino que el tamiz de 14.000 mallas acompaña a la alimentación o cuando no la acompaña. Si, por ejemplo, el material con que se alimenta contuviera un $2\frac{1}{2}$ por ciento de polvo de finura superior a 14.000 mallas y el polvo del horno fuese de un 5 por ciento del peso del crudo, con un 50 por ciento de finura superior a las 14.000 mallas, podría deducirse con fundamento que, con toda probabilidad, mediante la eliminación de dicha fracción fina, el polvo fino podría ser suprimido o reducido en gran medida. En el polvo del horno de cemento la cantidad de partículas más finas que el tamiz de 14.000 mallas puede ser del 50 por ciento o mayor aún, de modo que, si por medio de la molturación en circuito cerrado fuese eliminado el material de finura superior al tamiz de 14.000 mallas, la cantidad de dicho polvo probablemente podría reducirse a la mitad. Es cierto que el polvo de mayor finura no es el que más inconvenientes puede presentar, pues basta una ligera corriente de aire para arrastrarlo a distancia considerablemente mayor que el polvo de grano más grueso, pero su eliminación contribuiría mucho a reducir el polvo producido. Se ha visto que cuando sopla una brisa de 16 kms. por hora sobre una chimenea de 60 metros, las partículas superiores al tamiz de 14.000 mallas van a parar a 4 kms. de distancia, en tanto que las partículas de tamaño mitad de las anteriores van a una distancia cinco veces mayor. Así, pues, el problema de la molturación en circuito cerrado tiene gran interés desde el punto de vista del polvo, y merece se le dedique mayor atención.

Otra combinación de máquinas o aparatos que se complementan, y que ofrecerían ventajas al hacerse funcionar juntos, es la de un molino dispuesto para la molturación en circuito cerrado y un sistema de alimentación con pulverización. En el sistema de alimentación con pulverización cada partícula es lanzada por la boquilla inyectora con una determinada velocidad inicial, y en su trayectoria a lo largo del horno tropieza con los gases calientes, que se oponen u ofrecen resistencia a su avance, hasta que gradualmente queda en reposo. Con una velocidad inicial constante y una resistencia también constante una partícula de una dimensión determinada seguirá una trayectoria bien definida que puede ser fácilmente calculada.

Las dos condiciones que en la práctica no pueden ser consideradas como completamente constantes son el tiro (que se halla sujeto a fluctuaciones) y el tamaño de las partículas (que varía). Con ventiladores de tiro inducido y especialmente en aquellos casos en que se ha instalado una combinación de horno y enfriador, los límites de la fluctuación del tiro pueden ser restringidos, pero en cambio la variabilidad de los tamaños de las partículas sigue siendo la misma si la molturación se efectúa en circuito abierto.

Cuanto mayor sea una partícula dotada de una determinada velocidad inicial, mayor será su cantidad de movimiento y por consiguiente su aptitud para vencer una determinada resistencia. Por consiguiente, si de la alimentación se eliminan los tamaños menores, será mayor el tanto por ciento de material crudo que recorrerá el horno en sentido descendente. El regulador que representa la molturación en circuito cerrado satisface a dicha condición evitando la producción de partículas ultrafinas, por lo que resulta ser un buen auxiliar del sistema de alimentación con pulverización.

Molturación del clinker.—En el molido del clinker, los resultados pretendidos en materia de finura son completamente diferentes de los perseguidos en la molturación de las primeras materias. En esta última, la producción de partículas ultra-finas no es conveniente; en cambio en el caso del molido del clinker las partículas finas son esenciales. Las partículas más gruesas no son convenientes ni en el producto de la molturación del clinker ni en la del crudo. En algunas de las esferas técnicas apenas si hay quien tiene dudas acerca de la conveniencia del molido en circuito cerrado para la molturación del clinker. A base del molido en circuito abierto el producto es una mezcla de todos los grados de finura hasta un determinado tamaño máximo y se sabe por experiencia qué clase de condiciones y cualidades reúne luego el hormigón que con él se prepara; por el contrario el molido según un circuito cerrado da un producto más uniforme y de un determinado grado de finura; si se origina alguna duda, ésta procede únicamente de la ausencia de datos experimentales relativos a si esto es o no ventajoso para el hormigón resultante.

Debido a la relativa ausencia de material amortiguador (o almohadillado) en el molino que trabaja a base del circuito cerrado, las partículas resultantes, en lugar de ser redondeadas, tienen aristas agudas, dando en consecuencia una mayor superficie de contacto y produciendo mayor reacción cuando se las somete a la hidratación. En 1930, en los Estados Unidos se instalaron tres aparatos para moler clinker por circuito cerrado, y los resultados de los mismos son los que demostrarán si dicha duda es o no justificada.

Separadores.—El empleo de separadores, tanto de aire como por tamices ha sido discutido en el artículo sobre "Preparación del crudo" de esta serie y en otros artículos de la misma, y sería conveniente revisar ahora su empleo en las fábricas. Cuando se trata de materiales duros, si empezamos por la cantera, los separadores pueden ser empleados en primer lugar entre los trituradores primario y secundario con objeto de desviar el material ya suficientemente fino, de manera que no atraviese el triturador secundario. En el método de vía seca se emplean los separadores para desviar el material más fino de los secadores evitando su paso por el primer molino preliminar y dirigiéndolo al refino tubular de acabado directamente. Luego pueden ser empleados separadores en circuito cerrado con los molinos de trituración preliminar y sobre el molino de acabado del crudo tanto si se trata de un refino tubular como si es un molino combinado. Cuando se trata de materiales blandos, en los casos en que la reducción a pasta de las primeras materias se efectúa totalmente en molinos desleidores, la separación se lleva a cabo inmediatamente después de los molinos separados o combinados. En la sección de clinker se emplean los separadores en circuito cerrado.

El tipo, tamaño y disposición de los separadores mejor equipados para producir la mayor cantidad de retorno posible en la cantidad separada, depende principalmente de las primeras materias usadas. En las fábricas existentes, las máquinas o unidades molturadoras empleadas y la disposición o plano general de las instalaciones son las que rigen en gran medida la elección y disposición de los separadores. En las fábricas nuevas, el poderse proyectar la instalación de los separadores como parte normal e integrante del proceso general permite aprovechar plenamente su rendimiento, con la consiguiente reducción de los costes de explotación.

La importancia de la reducción del coste de explotación mediante la introducción de tamices depende de las condiciones y circunstancias de cada fábrica particular, de manera que toda tentativa para dar cifras aplicables a la práctica resulta inútil. Sin embargo, algunos ejemplos pueden servir de orientación, y

en la fig. 4 (véase pág. 1015) se exponen los resultados del funcionamiento de la sección de crudo de una fábrica de cemento de Pennsylvania, suministrados por la Mining & Industrial Equipment Co., Ltd. Los resultados ofrecen gran interés, atendiendo a que la introducción de separadores es progresiva y se detalla el efecto individual de cada adición. Se observará que en el No. 1 se ha adoptado el sistema de circuito abierto y marcha en línea recta, usando las trituradoras giratorias tanto para la fase primaria como para la secundaria, y molinos de martillos y de bolas para la molturación preliminar. En el esquema No. 2 se ha introducido un tamiz separador para desviar el material más fino, de manera que ya no pase por la trituradora secundaria, un tamiz para desviar también el material oportuno de los molinos de bolas, siendo éstos, además, puestos en circuito cerrado. El resultado de este cambio fué un aumento de la fracción producida de material de finura correspondiente al tamiz de 6200 mallas p. cm² desde 15 hasta 25,7 toneladas por hora, y asimismo un aumento de toneladas por KWH. desde 0,765 a 1,67. Tomando como 100 la producción obtenida con la disposición del esquema No. 1, la correspondiente al esquema No. 2 resultaría ser del 218 por ciento.

En el esquema No. 3 los resultados registrados corresponden a la sustitución de las trituradoras giratorias por una trituradora de rodillo y otra de martillos, y a la instalación de molinos Hércules en circuito abierto con marcha en línea recta, indicando sólo una ligera mejora sobre el esquema No. 1. En el esquema No. 4 el Hércules preliminar se ha montado en circuito cerrado y los resultados se aproximan ya a los del esquema No. 2. En el esquema No. 5, los resultados de la introducción de un tamiz adicional que desvía el material fino para evitar que pase por el Hércules, muestra una mejora decidida sobre la más eficaz de las disposiciones precedentes, o sea la del esquema 2 y eleva el tipo de la producción relativa al 239 por ciento, así como la proporción de material fino del tamaño del tamiz de 6200 mallas a 1,83 toneladas por KWH. Con la introducción adicional de separadores que ponen en circuito cerrado a uno de los seis refinados tubulares, la proporción por KWH se eleva a 2,84 y la producción relativa al 371 por ciento.

Cambiando los molinos e introduciendo separadores, la producción relativa total queda elevada de 100 a 371 por ciento y el rendimiento en material fino de 0,765 a 2,84 toneladas por KWH. Resulta también interesante observar que con iguales máquinas trituradoras (esquemas No. 3 y 6), y con sólo introducir separadores, la producción ha sido aumentada desde 22,3 a 40 toneladas por hora, con una reducción de 24,9 a 14,1 KWII en la cantidad de energía requerida.

Accionamiento central.—Desde hace algún tiempo se ha realizado un progreso en el método de accionamiento de los molinos combinados. Anteriormente en los tres países que nos ocupan se usaba de manera general el accionamiento por corona dentada y piñón recto, pero recientemente se ha ido introduciendo el sistema de accionamiento central, que está ya en uso en las fábricas más modernas del Reino Unido. El accionamiento central, del que se puede ver representado un ejemplo de la casa F. L. Smidth en la fig. 5 (véase pág. 1016) ofrece la ventaja de que los engranajes pueden trabajar en condiciones mucho mejores, por estar completamente al abrigo del polvo que los desgasta, pudiendo trabajar en baño de aceite constantemente renovado por circulación, que permite filtrarlo y enfriarlo. Los engranajes en su carter pueden ser mantenidos a temperatura constante, pudiendo trabajar entonces muy engranados y con poco huelgo, en contra de lo que ocurre con los engranajes de corona y piñón, que hallándose directamente expuestos al calor del molino, no pueden ser mantenidos a temperatura constante, y por consiguiente se les tiene que dejar un margen

mayor para permitir la dilatación del molino. Además el dispositivo de accionamiento central se adapta mejor al empleo de cojinetes de rodillos de manera general. Cada una de esas condiciones mejoradas contribuye a la mayor eficacia y rendimiento obtenidos con el accionamiento central.

La fig. 6 (véase pág. 1017) representa el accionamiento central tipo Edgar Allen & Co., Ltd., y la fig. 7 (véase pág. 1018) un accionamiento central para 500-875 C.V. y 750/121,5 r.p.m., construido por la Power Plant Co. Este último aparato presenta algunas características interesantes, pues con él se dispone de una velocidad lenta para parar o arancar y una marcha rápida para trabajar, a pesar de usarse un solo motor. A la arrancada se engrana la contramarcha o eje posterior, dejando desembragado el embrague de la marcha o accionamiento directo. Una vez se ha llegado a la velocidad de régimen se procede a embragar el accionamiento directo; a medida que éste va adquiriendo la marcha rápida, la contramarcha va desembragándose automáticamente. El engranaje es del tipo helicoidal sencillo, teniendo los dientes una inclinación de hélice muy pequeña, pues su ángulo es sólo de unos $7\frac{1}{2}$ grados. Este sistema de accionamiento permite una acción progresiva, no posible con los engranajes de dentado recto; la pequeñez del ángulo de oblicuidad hace que no se llegue a producir ningún empuje axial inconveniente.

El embrague magnético para accionamientos potentes es un sistema frecuentemente usado en los Estados Unidos y en el Canadá; se emplea en el accionamiento de molinos combinados o refinadores tubulares por medio de motores síncronos. El motor se pone en marcha sin carga y el embrague hace que se le vaya dando progresivamente la carga a voluntad del operador. El tiempo de aceleración en un molino de tamaño ordinario viene a ser de unos 5 segundos, y el exceso o sobre carga que esto ocasiona en el motor es aproximadamente de un 50 por ciento por encima de la carga normal de marcha. El control de los embragues Cutler Hammer es muy sencillo, consistiendo en un reostato operado manualmente y provisto de siete u ocho puntos. Los puntos de la resistencia están graduados de manera que den un escalonamiento de potencia accionadora en el embrague de tres a uno aproximadamente. Otros controlers o reguladores tienen un relevador sensitivo de corriente, conectado con el circuito principal del motor, de manera que si la corriente excede de determinado valor límite, se reduce la excitación del embrague y la fuerza accionadora se reduce hasta quedar por debajo de la potencia a plena carga del motor, en lo que a par motor se refiere. Luego, tan pronto como la corriente desciende, el circuito del relevador se cierra de nuevo, y el embrague es excitado otra vez con todo el voltaje, hasta tanto que la corriente del motor vuelve a rebasar el límite prefijado en el relevador. De esta manera la fuerza de accionamiento del embrague varía entre dos límites determinados previamente mediante la graduación del relevador.

Cojinetes de rodillos.—La introducción de los cojinetes de rodillos en sustitución de los cojinetes ordinarios en las máquinas rotatorias de gran potencia, tales como molinos y hornos, es un perfeccionamiento que va teniendo lugar persiguiendo un rendimiento más elevado en la práctica de la fabricación del cemento. Tanto en los Estados Unidos como en el Reino Unido los cojinetes de rodillos han sido empleados con éxito satisfactorio en los molinos, según se detalla luego, y en los hornos, según fué explicado en el No. VI de los artículos de esta serie, en el capítulo titulado "Hornos."

Los cojinetes de rodillos ofrecen muchas ventajas sobre los cojinetes ordinarios, siendo la principal de ellas la reducción de la potencia necesaria para llevar a cabo la misma cantidad de trabajo útil, reducción que llegaría

a ser de un 15 a un 20 por ciento, o mas todavía si se emplearan también cojinetes de rodillos, en el eje del piñón que acciona la corona dentada en el caso de engranaje periférico, o en la caja de engranajes cuando se emplea el sistema de accionamiento central, además de los rodillos de apoyo principales.

La durabilidad de los cojinetes de rodillos es apreciablemente mayor que la de los cojinetes ordinarios. El consumo de lubricante, con los cojinetes de rodillos, es considerablemente menor que en el caso de cojinetes ordinarios, siendo la economía del orden de un 70 por ciento. En compensación debe tenerse en cuenta el coste más elevado de compra de los cojinetes de rodillos. Sin embargo, tal exceso de coste queda amortizado en unos tres años, bajo las condiciones normales, si se tiene en cuenta la economía realizada en los gastos de explotación.

A causa del rendimiento relativamente bajo de los molinos, una fracción importante de la energía empleada es convertida en calor, en lugar de emplearse en trabajo útil para la trituration del material. Este calor, además de desperdiciarse de manera completamente inútil, tiene los inconvenientes de hacer que el material, y especialmente el clinker, resulte más difícil de moler, y de ocasionar además una perjudicial dilatación del molino durante su funcionamiento. Esta dilatación, en sentido axial, que es del orden de 20 mm. para un molino de 12 metros de longitud, obliga a disponer artificios especiales para su adaptación.

En la disposición de apoyo en sólo dos puntos en el tipo de molino más ligero con cojinetes ordinarios, en el que se dispone a cada extremo un cojinete central de muñón, no es frecuente que se prevean dispositivos para prevenir este aumento y disminución de la longitud del molino, como no sea un margen suficiente, capaz de permitir la máxima dilatación axial. De manera que en tales molinos dicha condición subsiste hasta tanto que el calor engendrado se ha difundido por igual por todo el molino, poniéndolo a su temperatura máxima, y por consiguiente dándole su máxima longitud; hasta entonces existe una superficie de apoyo de los cojinetes expuesta al material desgastador que en forma de polvo flota en la atmósfera en mayor o menor cantidad en torno de dichos puntos. Para eliminar estas desfavorables condiciones, se ha estudiado un cojinete de rodillos de forma tal, que no exista ningún huelgo innecesario entre los cojinetes, cualquiera que sea la longitud del molino entre sus límites máximo y mínimo. La Casa Skefko Ball Bearing Co., cuyo cojinete puede verse en la fig. 8 (pág. 1019) monta su cojinete de rodillos, apartado del extremo de accionamiento del molino, sobre tres guías paralelas de acero, que se adaptan cualquiera que sea el desplazamiento axial del molino ocasionado por los cambios de temperatura. Estas piezas de acero tienen la forma de una V invertida siendo curva la superficie del fondo y teniendo un radio igual a la altura normal vertical de la "V," de manera que, sea la que fuere la posición de las guías entre los límites prescritos, la altura del eje se conserva la misma. Los cojinetes de rodillos de ambos extremos, aun cuando no permiten ningún juego axial, son esféricos, de modo que cada uno de los rodillos de por sí soporta siempre la plena carga que le corresponde, cualquiera que sea la posición del molino.

Para molinos más pesados se adopta la disposición de tres puntos de apoyo según indica la fig. 9 (véase pág. 1021) para los Timken, y la 10 (véase pág. 1022) para los Skefko; el extremo de accionamiento va apoyado en un cojinete de rodillos de tipo esférico y el otro extremo sobre rodillos de apoyo. Cualquier variación de longitud del molino queda compensada o absorbida, gracias a la libertad que la llanta de apoyo que rodea el molino tiene para desplazarse

respecto de los rodillos. La Timken Roller Bearing Co. de los Estados Unidos monta su tipo de cojinete en el extremo de accionamiento de manera que los conos del cojinete se hallen comprimidos contra el muñón y sus alojamientos estén montados en el armazón exterior. Este armazón es redondeado, y se adapta en una pequeña depresión del pedestal, haciendo que el conjunto resulte de alineación automática. En la fig. 11 (véase pág. 1023) se representa un cojinete Timken.

Otra disposición adecuada para grandes molinos con accionamiento central es la de colocar dos cojinetes de rodillos uno junto a otro en un mismo eje macizo. Para los tipos más grandes de molinos esta disposición se ha visto que es una solución más económica que la de montar un solo cojinete de capacidad suficiente de soporte. En tal caso, es esencial que la carga se reparta por igual entre ambos cojinetes. Esto se logra haciendo que la armadura del cojinete descansa sobre una plancha ligeramente curvada de acero endurecido, como el de los cojinetes de bolas. Si uno de los dos cojinetes quedara menos cargado en un momento dado, el exceso de presión sobre el otro haría que el armazón se deprimiera en dicho lado en cuyo caso los cojinetes, debido a su aptitud para alinearse automáticamente, se repartirían por sí mismos la carga por igual.

Con los cojinetes de rodillos es necesario procurar cierres herméticos que los protejan contra la entrada de materias extrañas desde el exterior, cosa que se logra eficazmente montando en ellos dos placas trabajadas en forma de laberinto, que impiden la entrada del polvo y la salida del lubricante. La lubricación se efectúa mediante un sistema de circulación de aceite que trabaja bajo presión, y que comprende un filtro de aceite y un enfriador para refrigerarlo en su circulación, de manera que queda asegurada siempre una alimentación de aceite limpio y fresco. Para la obturación de los laberintos se emplea una grasa especial.

Como ejemplo de aplicación de los cojinetes de rodillos a un molino combinado puede ser citado el de un molino en el Sur de Inglaterra, en el que los dos rodillos de apoyo fueron equipados en 1927 con cojinetes "Skefko." El peso total del tambor, con los elementos molturadores de la carga y el material que se muele, es de 60 toneladas siendo la carga sobre cada cojinete de 13.500 kgs. Este molino tiene 9,75 m. de longitud por 2,15 m. de diámetro; los rodillos, montados a 7 m. del cojinete del extremo de accionamiento, tienen 760 mm. de diámetro por 275 mm. de llanta.

En los Estados Unidos puede citarse como ejemplo el de una fábrica de cemento de Pennsylvania, en la que hay molinos combinados equipados con cojinetes Timken. Estos molinos, uno para el crudo y otro para el clinker son de 2,90 m. de diámetro en su extremo más ancho y de 2,45 m. de diámetro en la sección restante de 11,60 m. de longitud. Cada uno de los molinos, accionado por un motor de 1100 C.V., pesa 92 toneladas y lleva una carga de 90 toneladas de elementos molturadores. Los dos rodillos de apoyo correspondientes al extremo testero de cada molino tienen 1,22 m. de diámetro y 610 mm. de llanta. Los cojinetes de rodillos tienen orificios de 406 mm. de diámetro por 673 mm. de diámetro exterior. Puede calcularse que cada cojinete soporta una carga aproximada de unos 27.000 kg.

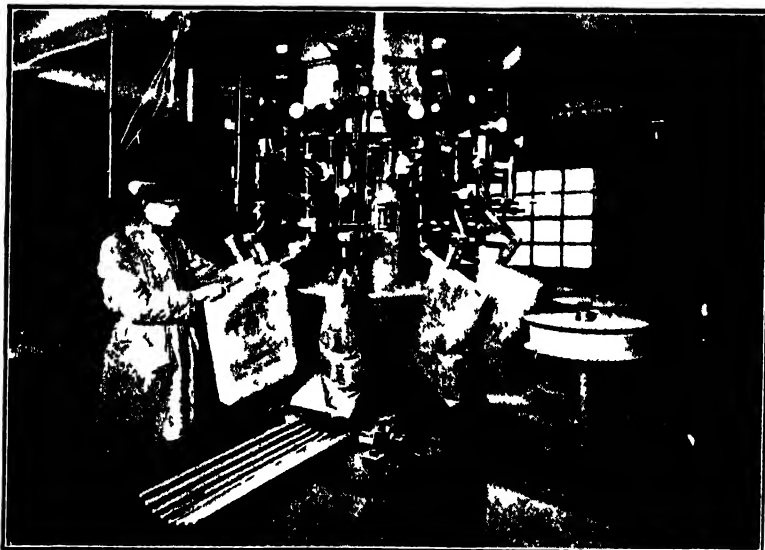
(Continuará.)

Los artículos anteriores de esta serie se publicaron en los números de noviembre de 1930, enero, febrero, abril, mayo y julio de 1931.

F.L.S.

Complete Equipment
for
CEMENT WORKS

**New Automatic Packing Machine for Cement.
Rotary Fluxo Packer.**



Protected by patents in all countries.

F.L.SMIDTH & CO., LTD

Engineers

**VICTORIA STATION HOUSE, VICTORIA STREET,
LONDON, S.W.1.**

Telephone FRANKLIN 6107-6108

Telegrams FOLASMIDTH, SOWEST, LONDON

F.L.S.

CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE

PUBLISHED 20TH OF EACH MONTH.

PRICE 2/- A COPY.

ANNUAL SUBSCRIPTION 24s. POST FREE.

PUBLISHED BY CONCRETE PUBLICATIONS LTD.,
20, DARTMOUTH STREET, LONDON, S.W.1.

TELEPHONE: VICTORIA 4581.

TELEGRAPHIC ADDRESS
CONCRETIUS, PARL, LONDON.PUBLISHERS OF
"CONCRETE & CONSTRUCTIONAL ENGINEERING"
"CONCRETE BUILDING & CONCRETE PRODUCTS"
"CEMENT & CEMENT MANUFACTURE"
"THE CONCRETE YEAR BOOK"
"CONCRETE SERIES" BOOKS, ETC.

INDEX TO ADVERTISERS.

BEZUGSQUELLEN.

RÉPERTOIRE des ANNONCES.

DIRECTORIO COMERCIAL.

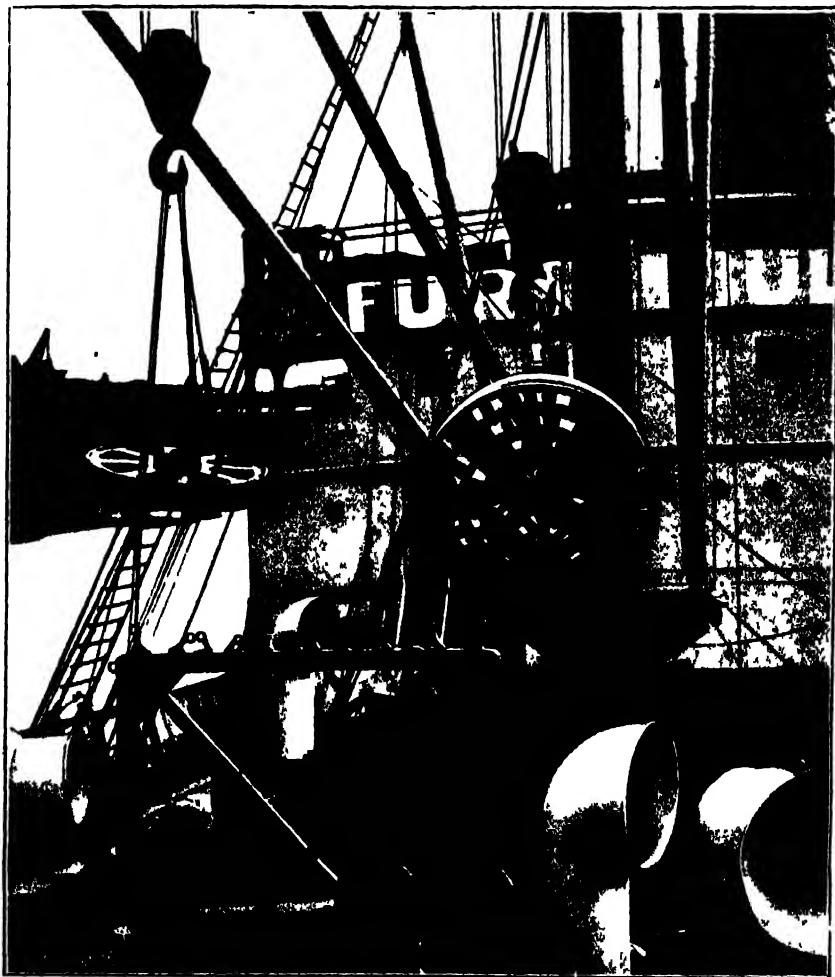
Allen, Edgar, & Co., Ltd.	xiii	Herbert, Alfred, Ltd.	—
Amaler, Alfred J., & Co.	—	Helipebs, Ltd.	xx
Andreas Engineering & Construc- tion Co., Ltd.	—	Hennefer Maschinenfabrik	xvii
Audley Engineering Co., Ltd.	—	Holman Bros.	—
Avery, W. & T., Ltd.	xix	Howden, T. C., & Co.	—
Babcock & Wilcox, Ltd.	xxviii	Hudson, Robert, Ltd.	xviii
Bates International Bag Co.	—	Humboldt-Deutzmotoren A.-G.	—
Beard & Fitch, Ltd.	xxii	Industrial Driers, Ltd.	—
Bleichert, Adolf, A.G.	—	International Baumaschinen- fabrik A.-G.	—
Boudard, H.	—	Kraft Sacks, Ltd.	—
British Rema Manufacturing Co., Ltd.	—	Krupp Grusonwerk	xv
British Thomson-Houston Co., Ltd.	—	Lea Recorder Co., Ltd.	—
Brown, David, & Sons, Hudd., Ltd.	—	Light Railways, Ltd.	—
Brown, John, Thos. Firth & Co., Ltd.	xiv	McEwan & Co., Ltd.	—
Bruce, Peebles & Co., Ltd.	—	Menck & Hambrook	—
Cambrian Wagon Co., Ltd.	—	Metropolitan-Vickers Electrical Co., Ltd.	xxvi
Chemisches Laboratorium für Tonindustrie	xvi	"Mieg" Mühlenbau und Industrie, A.-G.	—
Citroën Gear Co., Ltd.	—	Mining & Industrial Equipment, Ltd.	xxii
Colthrop Board & Paper Mills, Ltd.	—	Mitteldeutsche Mech. Papier- warenfabrik	—
Constantin, E., Ltd.	xii	New Conveyor Co., Ltd.	xviii
Crompton Parkinson, Ltd.	xxi	Newell, Ernest, & Co., Ltd.	Front Cover
Curtis, A. L.	—	Paper Sacks, Ltd.	—
Davidson & Co., Ltd.	xxx	Pearson, E. J. & J.	—
Davidson, Charles, & Co., Ltd.	xxix	Polysius, G.	—
Deloro Smelting & Refining Co., Ltd.	—	Power Plant Co., Ltd.	—
Diamond Lubricating Co., Ltd.	xxv	Renold, Hans, Ltd.	xvi
Dixie Machinery Manufacturing Co., Ltd.	xiii	Reuther & Reisert, Ltd.	xvii
Dowdings, Ltd.	—	Richter, Oscar A.	xx
Ellison, George	—	Rolland, John, & Co.	—
Evrard, F., & R. Frère	xiv	Ross Patents, Ltd.	—
Ewart Chain Belt Co., Ltd.	—	Ruston-Bucyrus, Ltd.	—
Fellner & Ziegler	xxiii	Ruston & Hornsby, Ltd.	xxx
Firth, Thos., & J. Brown, Ltd.	xiv	Smidth, F. L., & Co., Ltd.	ii
Fours Rousseau	—	Seck Machinery Co., Ltd.	—
Fraser & Chalmers Engineering Works	—	Société Anonyme des Excavateurs Normand & D'Haille	—
Frère, R., & F. Evrard	xiv	Steam Plant Accessories, Ltd.	—
Fuller Company	—	Stein, John G., & Co., Ltd.	ix
General Electric Co., Ltd.	—	Taylor, J. Darnley, & Co., Ltd.	—
General Refractories Co., Inc.	—	Telegraph Condenser Co., Ltd.	—
Glover, W. T., & Co., Ltd.	—	Tonindustrie, G.m.b.H.	xvi
Green Firebrick Co., A. P.	—	Vereinigte Stahlwerke, A.-G.	vii
Grueber	v	Vickers-Armstrongs, Ltd.,	x, xi & xxxi
Haver & Boecker	—	Visco Engineering Co., Ltd.	1138

CURT VON GRUEBER

Cable Address:
Drehrost,
Berlin-Lichterfelde

MASCHINENBAU A-G.
BERLIN - TELTOW
TELEPHONE ZEHLENDORF 3432.

Postal Address:
Berlin-Lichterfelde 1
Postfach 1.



**In Hamburg Harbour : Loading parts of rotary grate shaft kilns for shipment to South America
(order for 4 complete automatic shaft kilns).**

SPECIALISTS IN THE DESIGN & CONSTRUCTION OF COMPLETE CEMENT AND LIME WORKS

Arrangements can be made for an Experienced Cement and Lime Engineer to give personal advice free of cost and without obligation. Designs and estimates sent free of cost.

ORIGINAL PATENTEES of the ROTARY GRATE SHAFT KILN

CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE

Trades Directory.

Bezugsquellen. Répertoire des Adresses. Directorio Clasificados.

AIR SEPARATORS

Séparateurs à air
Windsichter

Separadores de aire

Alpine A-G,
Andreas, G.m.b.H.
Boudard, H.
Davidson & Co., Ltd.
Visco Engineering Co., Ltd.

BAGS & SACKS (Paper)

Papier-und Stoffsäcke

Sacs en papier

Sacos

Bates International Bag Co.
Colthrop Board & Paper Mills,
Ltd.
Dowlings, Ltd.
Kraft Sacks, Ltd.
Paper Sacks, Ltd.

BELTING

Treibriemen

Courroies

Correas

Beldam Packing & Rubber Co.,
Ltd.
Dawson, James, & Son, Ltd.
Lewis & Tylor, Ltd.
Reddaway, F. & Co., Ltd.

BOILERS

Kessel

Chaudières

Calderas

Babcock & Wilcox, Ltd.

BUCKETS (Elevator and Conveyor)

Becher für Elevatoren und Transporteure

Godets pour élévateurs

Cangilones (en los elevadores y transportadores)

Bleichert, Adolf, A-G.
Sté. Ance. des Excavateurs Normand & D'Hailie.

CABLEWAYS

Seilbahnen

Transporteurs aériens

Cables Vías de cable

Bleichert, Adolf, A-G.

CASTINGS

Gehäuse

Moulages d'acier

Piezas de fundición

Brown, John, & Co., Ltd.
Krupp Grusonwerk A-G.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

CLUTCHES

Kupplungen

Embrayages

Embragues

Broadbent, Thomas, & Sons, Ltd.
Power Plant Co., Ltd.
Wigglesworth, F., & Co., Ltd.

CONTROLLERS (Electric)

Elektrische Schaltanlagen

Combinateurs électriques

Controles o reguladores (eléctricos)

Ellison, George
Revrolle, A., & Co., Ltd.

CONVEYORS & ELEVATORS

Transporteure und Elevatoren

Transporteurs et Elevateurs

Transportadores y elevadores

Andreas, G.m.b.H.
Bleichert, Adolf, A-G.
Constantin, E.
Ewart Chain Belt Co., Ltd.
Fraser & Chalmers Engineering Works

Hepburn Conveyor Co., Ltd.

Lewis & Tylor, Ltd.

New Conveyor Co., Ltd.

Polysius, G., A-G.

Renold, Hans, Ltd.

Sté. Ance. Des Excavateurs Normand & D'Hailie

CRANES

Krane

Grues

Grúas

Balcock & Wilcox, Ltd.
Broadbent, Thomas, & Sons, Ltd.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

CRUSHERS

Brecher

Broyeurs et Cribles

Trituradoras

Allen, Edgar, & Co., Ltd.

Andreas, G.m.b.H.

Boudard, H.

Bradley Pulverizer Co.

British & Foreign Machinery Co.

British Rema Manufacturing Co., Ltd.

Candlot, Ch. E.

Dixie Machinery Manufacturing Co.

Johnson, Wm., & Sons (Leeds), Ltd.

Krupp Grusonwerk A-G.

Mag. Mühlenbau und Industrie A-G.

Mining & Industrial Equipment, Ltd.

Pfeiffer Gebr.

Smidth, F. L., & Co., Ltd.

Vickers-Armstrongs, Ltd.

Polysius, G., A-G.

DRAGLINE EXCAVATORS

Bagger mit Leitseil

Excavateurs à câbles

Excavadoras o dragas de cable

Bleichert, Adolf, A-G.

DRILLS, ROCK

Gesteinsbohrer

Perforatrices

Taladros, perforadoras o barrenadoras para roca

Sullivan Machinery Co., Ltd.

DUST COLLECTING PLANT

Staubabscheidungssysteme

Collecteurs de poussières

Sistemas de captación de polvo

Alpine A-G.
Andreas, G.m.b.H.
Boudard, H.
Davidson & Co., Ltd.
Mining & Industrial Equipment, Ltd.
Polysius, G., A-G.
Visco Engineering Co., Ltd.

ELECTRIC CABLES AND WIRE

Elektrische Kabel und Drähte

Câbles électriques

Cables y alambres eléctricos

Glover, W. T., & Co., Ltd.

ENGINES (HEAVY OIL)

Kraft-Maschinen Stationäre

(Rohöl - Verbrennungsmotore)

Moteurs à huile lourde

Motores (aceite pesado)

Ruston & Hornsby, Ltd.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

EXCAVATING MACHINERY

Löffelbagger

Excavateurs

Maquinaria excavadora

Ruston-Bucvins, Ltd.
Smidth, F. L., & Co., Ltd.
Menck & Hambrock A-G.

FANS

Ventilatoren

Ventilateurs

Ventiladores

Davidson & Co., Ltd.

General Electric Co., Ltd.

GEARS (HELICAL)

Schraubenräder

Engrenages hélicoïdaux

Mecanismo o engranaje (helicoïdal)

Brown, David, & Sons, Ltd.

Krupp Grusonwerk A-G.

Luth & Rosen, Ltd.

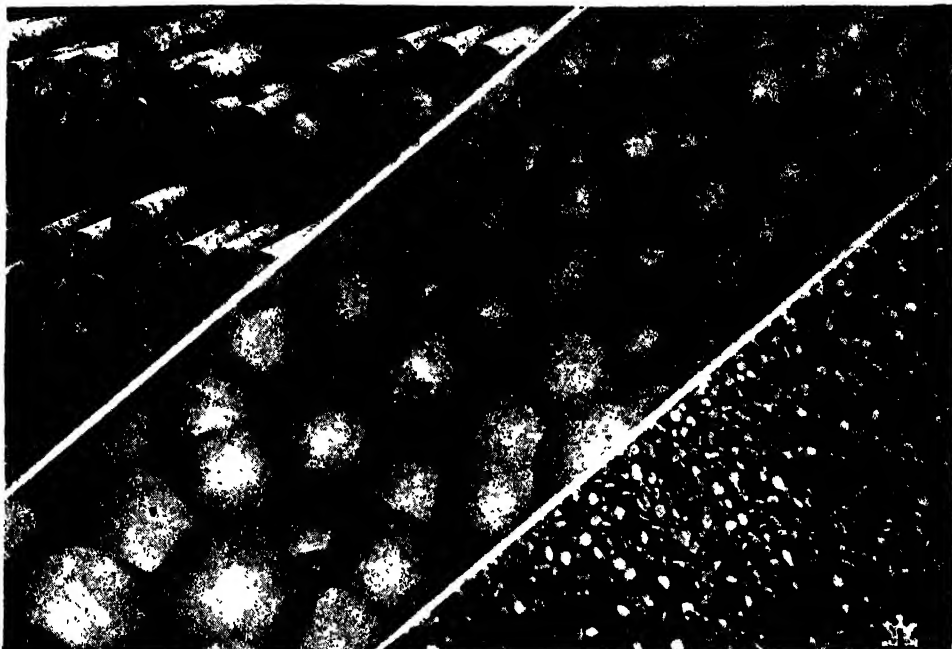
Platt, Samuel, Ltd.

Power Plant Co., Ltd.

Société Anonyme Des Engrenages Citroën.

Wallwork, H., & Co., Ltd.

Continued on page viii.



"Stahlunion" Forged Steel Balls

for all kinds of Grinding Mills, manufactured of steel of natural hardness in the most careful execution.

We also supply **Cylpebs** and **Grinding Rods**, brand "Stahlunion" from the same high grade natural hard steel.

Geschmiedete Stahlkugeln Marke "Stahlunion"

aus naturhartem Spezialstahl in sauberster Ausführung für alle Kugelmühlen.

Aus dem gleichen hochwertigen naturharten Stahl liefern wir **Cylpebs** und **Mahlstäbe** Marke "Stahlunion."

Boulets en acier forgés Marque "Stahlunion"

en acier spécial de dureté naturelle, exécution la plus soignée, pour tous broyeurs à boulets. Nous livrons également les **Cylpebs** et les **Batons** marque "Stahlunion" dans le même acier, de dureté naturelle, à haute résistance.

Bolas de acero forjado, marca "Stahlunion"

de acero especial de dureza natural, de esmerada ejecución, para molinos a bolas de todas clases.

De la misma alta calidad de acero, de dureza natural, suministramos también **cylpebs** y **barras** para molinos, marca "Stahlunion."

VEREINIGTE STAHLWERKE

A K T I E N G E S E L L S C H A F T

HUTTE RUHRORT-MEIDERICH, DUISBURG-RUHRORT
GERMANY DEUTSCHLAND ALLEMAGNE ALEMANIA



Trades Directory.—(Continued from page vi).

Bezugsquellen.

GRINDING BALLS

Mahlkugeln

Boulets en acier pour broyeurs

Bolas molidoras

Broyeurs Société des T.M.
Engins.
Hempel, Ltd.
Kordt & Rosch, A.-G.
Vereinigte Stahlwerke A.-G.

HOISTING MACHINERY

Aufzüge

Appareils de levage

Elevadores

Fraser & Chalmers Engineering Works.
General Electric Co., Ltd.
Kirston & Hornsby, Ltd.
Sullivan Machinery Co., Ltd.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

KILN LININGS

Ofenfutter

Produits réfractaires

Forno o revestimiento del horno

Curtis, A. L.
Davidson, Charles, & Co., Ltd.
General Refractories Co.
Gibbons (Dudley), Ltd.
Green, A. P., Firebrick Co.
Pearson, E. J. & J., Ltd.
Stein, J. G., & Co., Ltd.

KILNS AND COOLERS

(Rotary)

Drehöfen und Kühler

Fours rotatifs

Hornos y enfriadores (rotatorios)

Allen, Edgar, & Co., Ltd.
Andreas, G.m.b.H.
Fellner & Ziegler.
Grueber, Curt von.
Head, Wrightson & Co., Ltd.
Johnson, Wm., & Sons, Ltd.
Krupp Grusonwerk A.-G.
Newell, Ernest, & Co., Ltd.
Miag Mühlenbau und Industrie, A.-G.
Polysius, G., A.-G.
Smidth, F. L., & Co., Ltd.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

KILNS (SHAFT)

Schachtöfen

Fours Verticaux

Hornos (verticales)

Andreas, G.m.b.H.
Boudard, H.
Candlot, Ch.-E.
Krupp Grusonwerk, A.-G.

LUBRICANTS

Schmiermittel

Lubrifiants et huiles

Lubrificantes

Diamond Lubricating Co., Ltd.

PUMPS (CEMENT)

Zementpumpen

Pompes pour pâte à ciment

Bombas para cemento

Constantin, E.

Répertoire des Adresses.

MILLS, GRINDING

Mühlen

Broyeurs

Molinos

Allen, Edgar, & Co., Ltd.
Andreas, G.m.b.H.
Fellner & Ziegler.
Grueber, Curt von.
Head, Wrightson & Co., Ltd.
Humboldt-Deutzmotoren A.-G.
Johnson, Wm., & Sons, Ltd.
Krupp Grusonwerk A.-G.
Newell, Ernest, & Co., Ltd.
Miag Mühlenbau und Industrie A.-G.
Pfeiffer, Gebr., A.-G.
Polysius, G., A.-G.
Smidth, F. L., & Co., Ltd.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

MOTORS AND GENERATORS (Electric)

Elektrische Motore und

Generatoren

Générateurs et Moteurs

Electricques

Motore y generadores (eléctricos)

Bruce Peebles & Co., Ltd.
Crompton Parkinson, Ltd.
General Electric Co., Ltd.

PACKING MACHINERY

Packmaschinen

Ensacheuses automatiques

Maquinaria de envasado

Andreas, G.m.b.H.
Bates International Bag Co.
Haver & Boecker.
Labrawerk, m.b.H.
Paper Sacks, Ltd.
Polysius, G., A.-G.

PACKINGS

Packungen

Garnitures de presse-étoupes

Envasés

Beldam Packing & Rubber Co., Ltd.

PULVERIZERS

Mahlmaschinen

Broyeurs à charbon et coke

Pulverizadores

Boudard, H.
Bradley Pulverizer Co.
British Rema Manufacturing Co., Ltd.
Grueber, Curt von
Johnson, Wm., & Sons (Leeds), Ltd.
Mining & Industrial Equipment, Ltd.

RAILWAY EQUIPMENT

Bahnmaterial

Equipo ferroviario

Hudson, Robert, Ltd.

REFRACTORIES

Feuerfeste Materialien

Produits réfractaires

Refractarios

Curtis, A. L.
Davidson, Charles, & Co., Ltd.
General Refractories Co.
Gibbons (Dudley), Ltd.
Goss, G. P., & Co.
Stein, J. G., & Co., Ltd.

Directorio Clasificados

SAND (Cement Testing)

Sand zur Zementprüfung

Sable pour essais de ciment

Arena (ensayos del cemento)

Curtis, A. L.

SCREENS

Siebe

Tamis

Tamices

Locker, Thomas, & Co., Ltd.
Mining & Industrial Equipment, Ltd.

SLURRY MIXERS

Schlammischer

Malaxeurs

Mezcladores de pasta,

amasadoras

Andreas, G.m.b.H.
Newell, Ernest, & Co., Ltd.

TESTING MACHINES & APPARATUS

Prüfmaschinen und Apparate

Machines à essayer

Aparatos de ensayos

Avery, W. & T., Ltd.
Amsler, Alfred J., & Co.
Bailey, Sir W. H., & Co., Ltd.
Beard & Fitch, Ltd.
Chemisches Laboratorium für Tonindustrie.
Howden, T. C., & Co.
Macklow-Smith, A.
Richter, Oscar A.
Salter, G., & Co., Ltd.

VALVES

Ventile

Vannes

Válvulas

Alley & MacLellan, Ltd.

WASTE HEAT BOILERS

Abhitzeessel

Chaudières (à chaleur perdue)

Calderas de aprovechamiento de calor perdido

Babcock & Wilcox, Ltd.
Candlot, Ch.-E.

WASTE HEAT

RECOVERY SYSTEM

System zur Wiedergewinnung von Abwärme

Récupération des chaleurs perdues

Sistema de recuperación de calor perdido

Industrial Driers, Ltd.

WEIGHERS

Waagen

Basculas automaticas

Pesadores

Avery, W. & T.
Boudard, H.
Denison, Saml., & Sons, Ltd.
Polysius, G., A.-G.

JOHN G. STEIN & CO., LTD.

BONNYBRIDGE

SCOTLAND

Fabricants de
refractaires de
qualité supérieure
pour garnissage de
fours rotatifs de
cimenteries.

Nos briques re-
fractaires de
marque " Nettle "

Fabrikanten eines
hochwertigen feuer-
festen Futters für
Zementdrehöfen.

Unsere feuerfe-
sten Steine Marke
" Nettle " sind

Fabricantes de
refractarios de alta
calidad para revestimientos de hornos
rotatorios de
cemento.

Nuestros ladrillos
refractarios, marca

**MANUFACTURERS
OF HIGH GRADE
REFRACTORIES
FOR ROTARY
CEMENT KILN
LININGS**



conviennent égale-
ment bien pour les
zones de refroidis-
sement et de gril-
lage au pur, et elles
ont donné d'excel-
lents résultats dans
les cimenteries par-
tout en Grande
Bretagne.

Notre service
technique est à
votre disposition.

**NOUS SOMMES LES
FABRICANTS DE RE-
FRACTAIRES LES PLUS
IMPORTANTES DE L'EM-
PIRE BRITANNIQUE.**

sowohl für die
Kühl-wie Sinter-
zone des Ofens
geeignet und haben
sich in Zement-
fabriken Gross-
Britanniens hervor-
ragend bewährt.

Unsere technische
Abteilung steht zu
Ihrer Verfügung.

**WIR SIND DIE
BEDEUTENDSTEN
FABRIKANTEN IM
BRITISCHEN REICH.**

" Nettle," son muy
adecuados, igual-
mente, para las
zonas de refrigera-
ción y de calcina-
ción del horno, y
han rendido ser-
vicio excelente en
las fábricas de
cemento de toda la
Gran Bretaña.

Nuestro servicio
técnico queda a su
disposición.

**SOMOS LOS MAYORES
FABRICANTES DEL
IMPERIO BRITÁNICO.**

BRANDS.

**NETTLE
THISTLE
STEIN
JGS&CO
BLUEBELL
(95% Silica).**

Our "Nettle" Brand
Firebricks are very
suitable for both the
cooling and burning
zones of the kiln and
have given excellent
service in cement
works throughout
Great Britain.

Our Technical
Service is at your
disposal.

We are the Largest
Makers in the British
Empire.

VICKERS -

CEMENT MAKING MACHINERY



Published by Courtesy of the Green Island Cement Co.

ROTARY KILNS, BALL MILLS, TUBE MILLS,
DRIERS, CRUSHERS, CRUSHING ROLLS,
MIXERS, AGITATORS, ETC.



ARMSTRONGS LIMITED

The illustration shows two of the Vickers Patent Rotary Reflex Kilns in course of erection at the new works of the Green Island Cement Co., Ltd., Hongkong. These kilns form part of the contract for a complete works having a capacity of 2,000 tons of cement per week, secured by Vickers-Armstrongs Ltd.

La figure montre deux des fours rotatifs Reflex Vickers, en cours de montage aux nouvelles Usines de la Green Island Cement Co., Ltd., à Hongkong. Ces fours forment une partie d'un contrat relatif à une usine ayant une capacité de 2,000 tonnes de ciment par semaine, assuré par VICKERS-ARMSTRONGS LTD.

Die Abbildung zeigt zwei der patentierten Vickers-Reflex-Drehöfen während der Montage auf dem neuen Werk der Green Island Cement Co., Ltd., Hongkong. Diese Oefen bilden einen Teil des, der Firma Vickers-Armstrongs Ltd., erteilten Auftrages für die vollständige Fabrik mit einer wöchentlichen Kapazität von 2,000 t Zement.

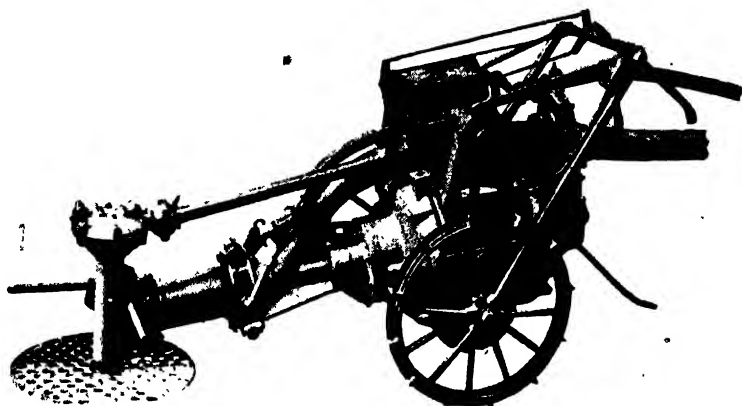
La figura representa dos de los hornos rotatorios Reflex patente Vickers, durante su montaje en la nueva fábrica de la Green Island Cement Company, Limited, de Hongkong. Estos hornos forman parte del pedido de una fábrica completa para una capacidad de 2,000 toneladas semanales de cemento, obtenido por la Vickers-Armstrongs Limited.

All Enquiries to Works:

BARROW - IN - FURNESS.

Head Office: VICKERS HOUSE,
BROADWAY, LONDON, S.W.1.

BULK CEMENT ON THE THAMES



WHY IT LOWERS TRANSPORT COSTS

By using the FULLER - KINYON BULK CEMENT PUMP cement can be transported on barges from Works in Essex and Kent to depots in London and the Home Counties in two operations only, and the actual conveying of the cement from silos to barges and from barges to depots can be carried out by one man at the rate of 35 tons per hour per pump.

BULK CEMENT ON THE G.W. RAILWAY

The FULLER-KINYON BULK CEMENT PUMP will unload cement on construction sites from 20-ton railway trucks by one man in one single operation at the rate of 35 minutes per truck, or deliver it to the depots supplying the big industrial areas in the same time and with the same small amount of labour.

**BULK CEMENT
HAS MORE ADVANTAGES
IN ENGLAND
THAN ANY OTHER COUNTRY**
Let us tell you why.

E. CONSTANTIN, LTD.
105, RUE LAFAYETTE, PARIS.

Telegrams: "Fullengooy, Paris."

Sole Licences (except for pulverised coal) for England and France, Holland, Belgium, Luxembourg, Switzerland, Spain, Portugal, and their respective colonies.

Patentees: THE FULLER COMPANY, CATASAUQUA, PENNA., U.S.A.

BULK CEMENT FOR

READY - MIXED CONCRETE PLANTS

Ready-mixed concrete plants are now operating in England. Bulk cement is the most economical method of supplying these plants. Let us send you particulars of the big savings in costs that have been made with the ready-mixed concrete industry in the U.S.A.

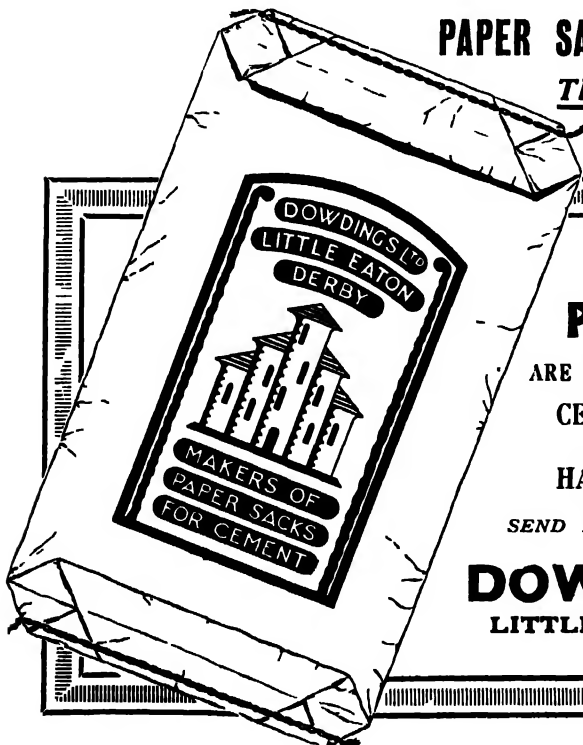
Rotary Driers

Edgar Allen rotary driers combine a high thermal efficiency with a simple robust construction. The design is the result of over twenty years' experience, and the rapidly-increasing number of installations is proof that they are satisfactory in design, workmanship and operation

for drying

*coal — chalk — china clay — fuller's earth — sand —
sulphate of ammonia — whiting — etc., etc.*

**Edgar Allen & Co., Ltd.,
Sheffield.**



PAPER SACKS FOR ALL PURPOSES
THE MOST RELIABLE
FOR EXPORT TRADE.

**OUR
PAPER SACKS**

ARE MORE ECONOMICAL FOR THE
CEMENT MANUFACTURER
AND
HANDIER FOR THE USER.

SEND FOR FULL PARTICULARS.

DOWDINGS LTD.
 LITTLE EATON, DERBY,
 ENGLAND.

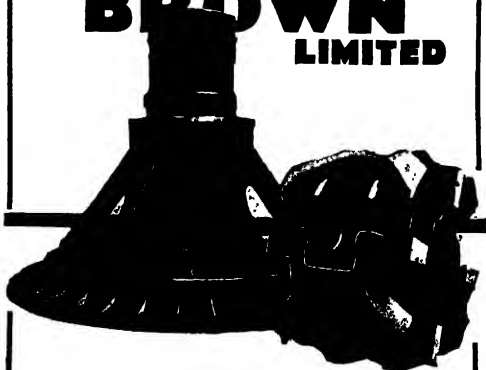
STEEL CASTINGS FOR GRINDING AND PULVERISING MILLS.

THE quality of the castings supplied by this Company for Crushers, Pulverisers and other mining plants is more than vouched for by the many users from whom repeat order after repeat order is secured.

By an unusually wide experience and unsurpassed facilities for research, this Company is enabled to keep its service keyed up to but one ideal—that of meriting the confidence already earned and given.

*Write for Catalogue No. 27
on this subject. It will
be gladly sent upon request.*

THOS FIRTH & JOHN BROWN LIMITED



ATLAS & NORFOLK WORKS SHEFFIELD

CABLE ADDRESS: FREREVRARD, CHARLEROI.

Buy **SILEX** :: Bolas
BLOCKS for de Mar
LINING your en peder-
Cement Mills, nal; REVES-
and your TIMIENTOS
FLINT :: DE MOLINOS de
PEBBLES Cemento en
from adoquines **SILEX**
BELGA DÜRO.

R. FRERE & F. EVRARD,

Silex Producers,

106, Rue Neuve,

MONTIGNIES - sur - SAMBRE (BELGIUM)

For List of Up-to-date

Books on Concrete

Send a postcard to
CONCRETE PUBLICATIONS LTD.,
20 Dartmouth Street, London, S.W.1.

RAPID SINTERING RAPID COOLING

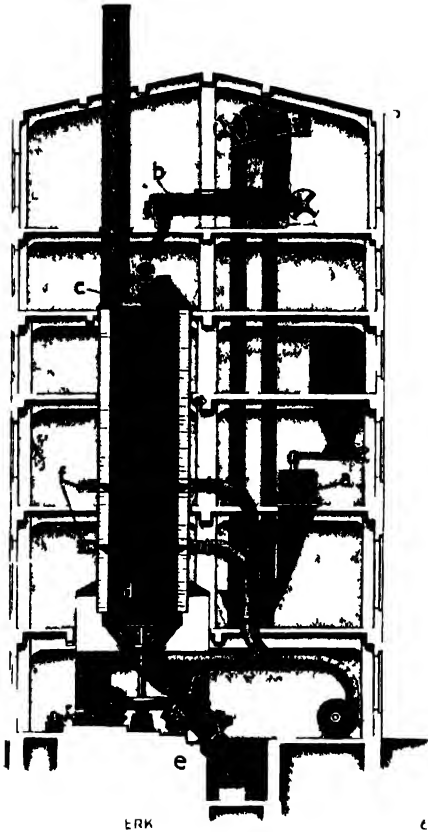
THE HIGH DUTY SHAFT KILN

Type KRUPP-
GRUSONWERK
ANDREAS

produces excellent
clinker at a high
rate of output.

Sintering is effected quickly in a very narrow sintering zone, and an intensive cooling of the clinker takes place immediately below this zone (by a new system of air ducts).

ASK FOR OUR EXPLANATORY
PAMPHLET.

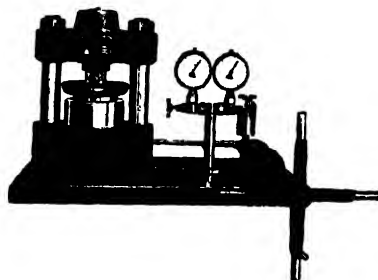


FRIED. KRUPP GRUSONWERK A.G.
MAGDEBURG (Germany).

Sole Agents in Great Britain and Ireland :--

J. ROLLAND & CO.,
ABBAY HOUSE, VICTORIA STREET, LONDON, S.W.1.
Tel. Nos.: VICTORIA 4847, 1328.

CEMENT TESTING MACHINES



60-ton testing press
Model 1931.

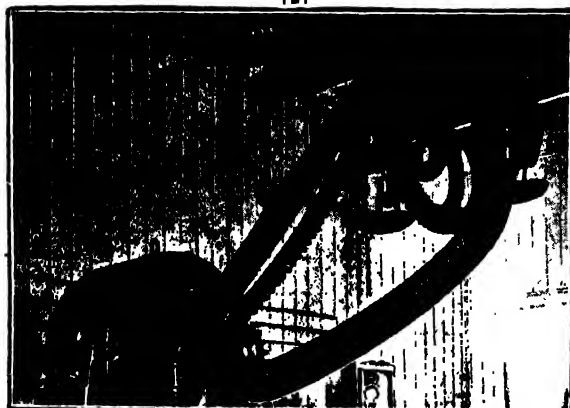


Tonindustrie G.m.b.H

Abt.: Prüfmaschinenbau Berlin NW 21

RENOLD

Chain Drives *from STOCK*



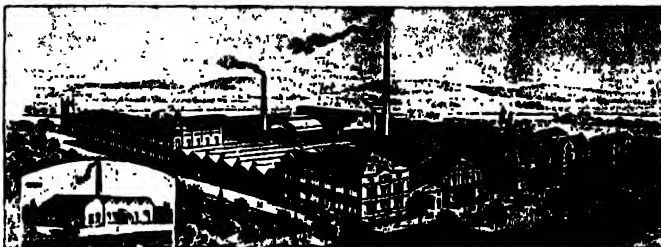
For the highest efficiency
of Power Transmission
at the lowest cost.

The range covers from 1
to 100 h.p., with ratios
up to 6:1, and im-
mediate deliveries can be
given from Works or
Depots.

*Renold Stock Chain Drive
to Lineshaft.*

Send for Booklet Ref. No. 016/03.

HANS RENOLD LIMITED.
MANCHESTER **ENGLAND**



HENNEF ENGINEERING WORKS

(C. REUTHER & REISERT, LTD.)

HENNEF - ON - SIEG :: GERMANY

*Makers of the First Gaugeable
Automatic Weighing Machine.*

OVER 50 YEARS' EXPERIENCE IN THE MANUFACTURE OF "CHRONOS" PATENT AUTOMATIC WEIGHING MACHINES FOR ALL PURPOSES

"CHRONOS" AUTOMATIC WEIGHING MACHINES

for cement, gypsum, clinkers, and coal. Also for proportioning raw materials.

"CHRONOS" AUTOMATIC PACKING AND WEIGHING MACHINES

for cement, gypsum, lime and ground slag, etc. Patented in all countries.

A list of cement-making firms who have installed 'CHRONOS' machines will be sent on request.

BALANCES AUTO- MATIQUES "CHRONOS"

pour le pesage de matières pulvérulentes et en morceaux (ciment, plâtre, clinkers, charbon, etcétera) pour le dosage de matières premières.

BALANCES AUTOMATIQUES "CHRONOS"

étanches de poussières pour l'ensachage de ciment, plâtre, farines de chaux, de scories Thomas etcétera.

Brevetées dans tous les pays industriels.

Références de tout 1^{er} ordre.

MÁQUINAS PESADORAS AUTOMÁTICAS "CHRONOS"

para cemento, yeso, clinker y carbón, así como para la dosificación de primeras materias.

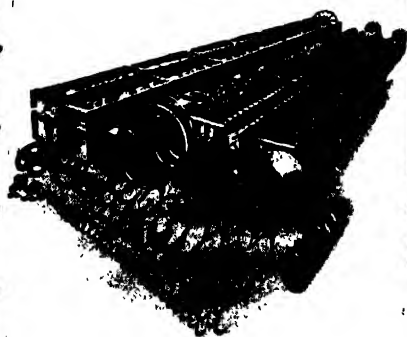
MÁQUINAS PESADORAS Y ENVASADORAS AUTOMÁTICAS "CHRONOS"

para cemento, yeso, cal y escorias molidas, etc. Patentadas en todos los países.

Permítanos enviarle la lista de las casas productoras de cemento que han instalado máquinas 'CHRONOS.'

**FULL PARTICULARS OF THE "CHRONOS" AUTOMATIC
WEIGHING MACHINE WILL BE SENT ON REQUEST.**

**SPECIALISTS IN THE
DESIGN AND CONSTRUCTION
OF
MECHANICAL HANDLING PLANTS
FOR CEMENT WORKS.**



SPIRAL CONVEYORS
REPLACEMENTS

BAND CONVEYOR IN GANTRY
AND SPARES A SPECIALITY.

**NEW CONVEYOR CO., LTD., SMETHWICK,
BIRMINGHAM.**

Telephone : 0801 SMETHWICK.
Telegrams : APTITUDE.
BIRMINGHAM.

Representative,
Mr. R. McDOUGALL.



**BUY YOUR WAGONS
FROM
THE ACTUAL MAKERS**

SAVE ON YOUR FIRST COST—GET BETTER SERVICE

**HUDSON'S QUARRY
TIPPING WAGONS**

are specially constructed to stand rough usage.
For over 60 years Hudsons' have specialised
in the manufacture of Wagons of every
description.

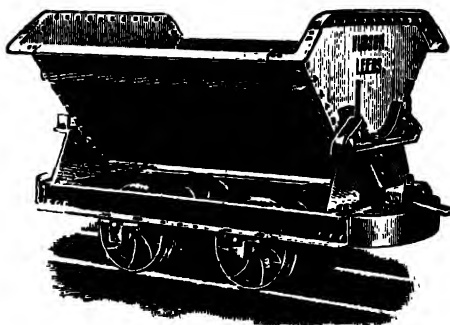
**TRACK AND ALL ACCESSORIES,
STEAM, DIESEL & PARAFFIN LOCOS.**

WRITE FOR CATALOGUE.

LONDON :
SUFFOLK HOUSE,
CANNON STREET,
E.C.4.

ROBERT HUDSON LTD.
38^A BOND ST., LEEDS
Works : GILDERSOME FOUNDRY, near LEEDS.

Telegrams & Cables (all offices) : "RALETRUX."



Also at
Johannesburg, Durban,
Salisbury, Bulawayo,
Beira, Luanda, Lobito,
Mauritius, Singapore,
Cairo and Calcutta.

SCRAP YOUR SCRAP!

Make profit in the factory by avoiding superfluous material in designs and preventing wasted labour on faulty material. Do away with your scrap heap by using an Avery Testing machine, but first write for Handbook T125 to W. & T Avery Ltd., Soho Foundry, Birmingham.

FORT MIT DEM AUSSCHUSS!

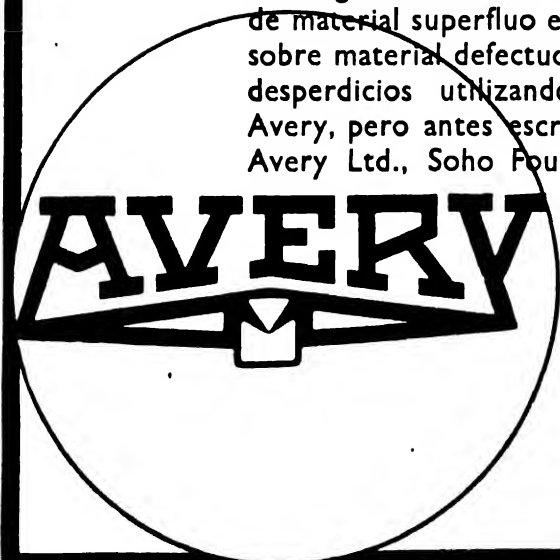
Erhöhen Sie Ihren Gewinn in der Fabrik durch Vermeidung von unnötigen Material-Ausgaben für Versuche und unnützer Arbeit an fehlerhaftem Material. Beseitigen Sie Ihren Schrotthaufen durch Benutzung einer Avery Prüfmaschine, doch lassen Sie sich vorher unser Handbuch geben. W. & T. Avery Ltd., Soho Foundry, Birmingham, England.

DIMINUEZ VOS PERTES!

Réalisez un grand bénéfice dans vos fabrications en évitant les pertes d'études et de fabrication de matériel douteux. Supprimez votre stock de déchets en utilisant une machine d'essais "AVERY." Ecrivez de suite en demandant un catalogue à W. & T. Avery Ltd., Soho Foundry, Birmingham, Angleterre.

¡DESECHE SUS DESECHOS!

Obtenga beneficio en su Fábrica evitando el empleo de material superfluo en sus diseños y el trabajo inútil sobre material defectuoso. Acabe con su montón de desperdicios utilizando una máquina de pruebas Avery, pero antes escriba pidiendo folleto a W. & T. Avery Ltd., Soho Foundry, Birmingham, Inglaterra.



CHROMOIDS

"CHROMOIDS" — world-renowned Grinding Media of extreme Hardness and Toughness—is supplied in both Spherical and Cylindrical types — may we send you samples and prices?

SPHERES or CYLINDERS

Die weltbekannten „Chromoid“ — Mahlkörper von grosster Härte und Zähigkeit werden in kugel-und zylinderförmiger Art geliefert. Dürfen wir Ihnen Muster senden und ein Preisangebot machen?

S
P
H
È
R
E
S

O
U

K
U
G
E
L
N
O
D
E
R

C
Y
L
I
N
D
R
E
S

Z
Y
L
I
N
D
E
R

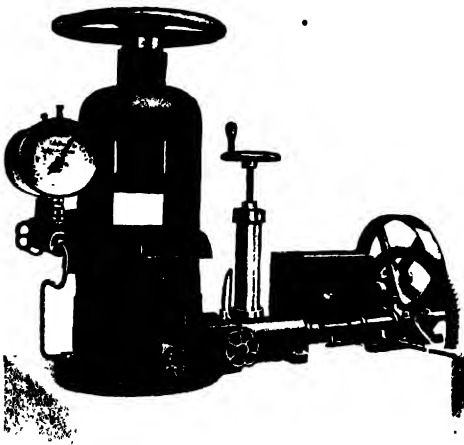
"CHROMOIDS" — Les organes de broyage de réputation mondiale d'une extrême dureté et d'une extrême résistance sont fournis sous la forme sphérique ou cylindrique. Pouvons-nous vous envoyer des échantillons et des prix?

ESFERAS O CILINDROS

'CHROMOIDS.' Elementos mol-turadores de fama mundial por su extrema dureza y tenacidad. Se suministran tanto de tipo esférico como de tipo cilíndrico. ¿Podemos enviar a Vd. muestras y precios?

HELIPEBS LIMITED, GLOUCESTER, ENGLAND.

Cement Testing Machines



**Machines pour éprouver
le ciment**

Zementprüfmaschinen

**Maquinas para ensayos
de cementos**

OSCAR A. RICHTER

Güterbahnhofstr. 8
DRESDEN-A.1

THE GREAT CEMENT-MAKING MOTORS

There are problems in the driving of cement-making machinery which Crompton's have solved. Their selection has been justified in many years of experience by the world's greatest cement makers.

Power Engineers throughout the world can explain why no cement plant can be efficient without the Crompton Auto-Synchronous Motor.

La commande des machines de cimenteries soulève certains problèmes que la maison Crompton a résolus. Le choix qu'elle a fait s'est justifié, par les nombreuses années d'expérience qu'en ont fait les plus importantes fabriques de ciment du monde.

Partout au monde, les Ingénieurs de Centrales sont à même d'expliquer, pourquoi aucun matériel de cimenterie ne peut fournir un bon rendement sans le Moteur Auto-Synchrone Crompton.

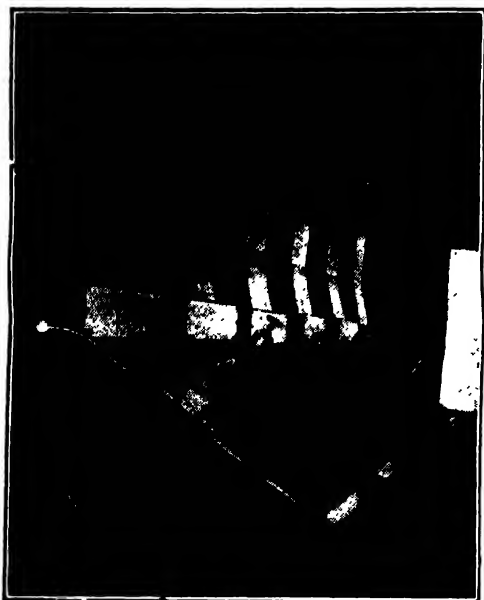
Es gibt Probleme hinsichtlich des Antriebs von Zementmaschinen, welche die Firma Crompton gelöst hat. Die Wahl dieser Firma rechtfertigt sich infolge der jahrelangen Erfahrungen, welche viele der bedeutendsten Zementfabrikanten in der ganzen Welt mit der Firma gemacht haben.

Die Ingenieure der ganzen Welt können Aufklärung darüber geben, warum Zementwerke nur dann rationell arbeiten können, wenn sie den Auto-Synchronmotor Crompton verwenden.

Hay problemas en el accionamiento de las máquinas empleados en la fabricación del cemento que han sido resueltos por la casa Crompton's. Una experiencia de muchos años les ha demostrado a los primeros fabricantes de cemento del mundo que hicieron bien en acudir a ella.

Los Ingenieros especialistas en materia de fuerza motriz en todas partes del mundo pueden explicar el porqué no puede obtenerse el pleno rendimiento de ninguna instalación de fabricar cemento Sin el Motor Auto-Sincronico Crompton.

CROMPTON PARKINSON
LIMITED



Six Hum-mer Screens in Cement Plant.

CLOSED CIRCUIT GRINDING PROVES SUCCESSFUL

Hum-mer Screens installed in conjunction with Dry Grinding Mills at Nazareth Cement Co. produce the following results :—

1. Increased Capacity from 8·2 to 10·4 tons per hour.
2. Power reduced from 20·6 to 15·7 Kilowatt Hours per ton.
3. Fineness increased from 22·3% to 29·9% of 200 Mesh Tons per hour.
4. Improvement in Performance 65%.



MINING & INDUSTRIAL EQUIPMENT LTD

ASSOCIATED WITH INTERNATIONAL COMBUSTION LTD

11, Southampton Row, London, W.C.1.

Works: Derby & Erith.



Telephone :
HOLBORN 7277 (3 lines).

Telegrams and Cables :
HARDRAYMIL, WESTCENT, LONDON.

FELLNER & ZIEGLER

FRANKFORT on MAIN-WEST, GERMANY.

A.-G.



COMPLETE INSTALLATIONS FOR CEMENT WORKS

The above is an illustration of one of our rotary Kiln installations 164 feet long by 10 feet diameter, provided with our patent enlarged calcination zone 30 feet long by 17 feet diameter and waste heat boiler plant. The output is 300 tons per day of highest quality uniformly burnt clinker produced at lowest possible fuel consumption.



Sole Representatives for British Territories:

J. DARNLEY TAYLOR & CO., LTD., Engineers,

Cecil Chambers, Strand - - - London, W.C.2.

Telephone No Temple Bar 7358 Telegrams: "Idryall, Rand, London."

INSTALACIONES COMPLETAS DE FABRICAS DE CEMENTO

Esta figura representa una instalacion de hornos giratorios de 3 m de diametro y de 50 m de largo, con zona de calcinacion ensanchada de 5 m de diametro y 9 m de largo, con recuperacion de los gases de escape. Con un rendimiento de 300 toneladas por dia, fornece un clinker uniforme de mejor calidad, el consumo de combustible siendo reducido lo mas posible.

FELLNER & ZIEGLER A.-G.
Frankfurt a/M.-West, Alemania.

VOLLSTÄNDIGE EINRICHTUNG VON ZEMENTFABRIKEN

Diese Abbildung stellt eine Drehofen Anlage von 3 m Durchmesser und 50 m Länge mit patentierter erweiterter Kalzinierungszone von 5 m Durchmesser und 9 m Länge unter gleichzeitiger Verwendung der Abhitze dar. Bei einer Leistung von 300 Tonnen täglich liefert sie bei niedrigstem Brennstoffverbrauch einen gleichmassigen hochwertigen Klinker.

FELLNER & ZIEGLER, A.-G.
FRANKFORT, a/M.-WEST.

INSTALLATIONS COMPLÈTES D'USINES À CIMENT

Cette figure représente une installation de fours rotatifs de 3 m de diamètre et d'une longueur de 50 m, à zone élargie de calcination brevetée d'un diamètre de 5 m et d'une longueur de 9 m, avec récupération des gaz perdus. Ayant un rendement de 300 tonnes par jour, elle fournit un clinker régulier de la meilleure qualité, en réduisant en même temps autant que possible la consommation du combustible.

FELLNER & ZIEGLER, A.-G.
Frankfurt a/M.-West, Allemagne.

A NEW BOOK ON CEMENT CHEMISTRY

By Prof. Dr. HANS KÜHL (*Director of The Institute for Cement Research, Berlin*)

List of Chapters

- I.—The Development of Cement Research.
- II.—The Theory of Cement Burning.
- III.—The Constitution of Portland Cement Clinker.
- IV.—The Problem of Hardening and its Signification in Cement Research.
- V.—The Chemistry of High-Strength Cements.
- VI.—The Technical Aspect of High-Strength Cements.

Dr. Hans Kühl is one of the foremost cement chemists of the world. In this book he exposes the misleading conclusions that have resulted from much of the cement research work of the past, and presents the most up-to-date knowledge on the subject in language readily understandable by the average reader. Dr. Kühl has been an important contributor to the research work on these subjects, some of his work covering a period of twenty years, and this enables him to write as an expert.

As the originator of what may be described as the miniature method of testing described in the book, Dr. Kühl has been the means of connecting the purely scientific work of the laboratory with the manufacturing or technical procedure. Previous investigations have been either the highly-specialised work of physical chemists whereby pure compounds thought to exist in cement have been synthesised and identified by optical constants (but without reference to commercial value as evidenced by strength tests), or the trial-and-error type on the commercial scale which have led to no advance in chemical knowledge. It has been generally admitted that the latter

investigations have led to more fruitful results than the purely scientific work, the production of rapid-hardening cement being a notable example of this. By his technique, however, Dr. Kühl has combined the two methods of investigation, and with no more than three grammes of cement prepared in the laboratory under scientific conditions he is able to apply tests which permit the tensile and comprehensive strengths of the material to be revealed. Similarly small quantities suffice for setting and soundness tests.

The author exposes the misleading conclusions that have resulted from two conditions prominent in much of the cement research work of the past. The first is the examination of the three-component system (lime-silica-alumina) without due regard for the differences caused by the presence of iron oxide acting as a catalyst or flux, and the second is the common procedure of immersing a few grains of cement in a comparatively large volume of water and assuming that the physical and chemical reactions are similar to those that occur in the practical application of cement when the proportion of water to cement is essentially different.

Two chapters are devoted to the chemistry and manufacture of rapid hardening cement, and more information on this important subject is given than has previously been available to the public. The question is here discussed of the influence of particle size upon strength of cement, and many readers will learn with surprise that there is a limit beyond which fineness of grinding can be continued without advantage to the strength of cement.

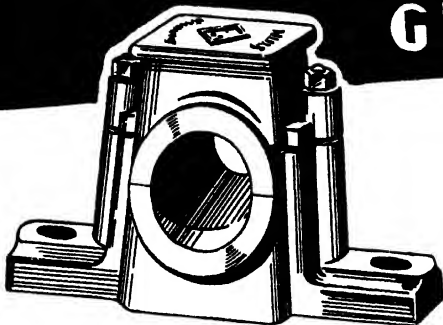
Another subject little known to English readers is that of "K.L. storage" of test pieces *i.e.* the alternate storage in water and air which constitutes a soundness test and may reveal inherent instability in a cement not detected by the ordinary soundness tests.

"CEMENT CHEMISTRY IN THEORY AND PRACTICE."

Price by Post 7s. 9d. from

CONCRETE PUBLICATIONS LIMITED,
20, DARTMOUTH STREET, LONDON, S.W.1.

CALYPSOL GREASE



AND CEMENT WORKS

The Grease Boxes on Ball Mills, Tube Mills, Kiln Roller Bearings, if packed with Calypsol Yarn and having a core of Calypsol Grease, will last 6—12 months without attention.

Suppliers for 30 years to Cement Works throughout the World.

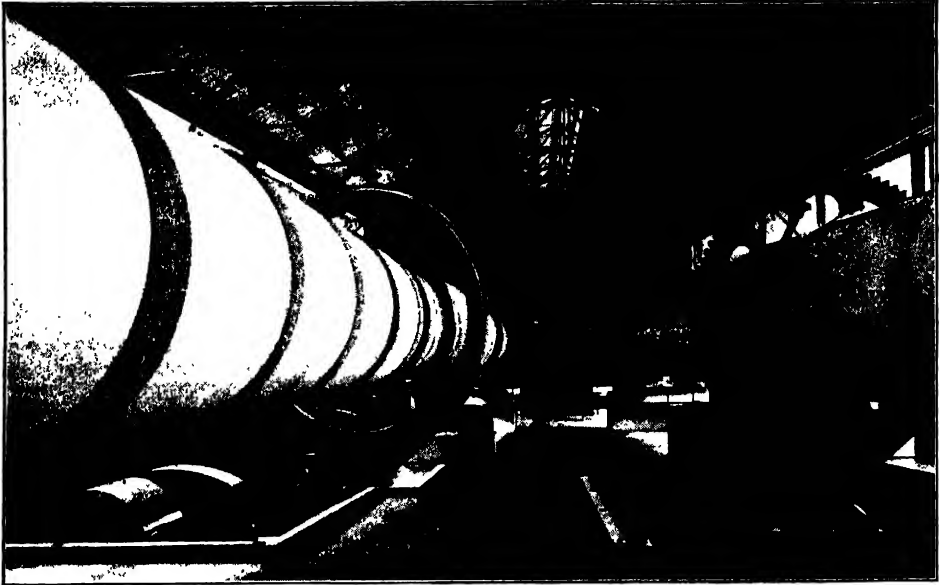
Las cajas de grasa de los molinos de bolas, refinós tubulares, soportes de rodillos para los hornos, etc., durarán de 6 a 12 meses sin necesidad de más cuidados si se empaquetan con la estopa "CALYPSOL" y se cargan con grasa "CALYPSOL."

Proveedores desde hace 30 años de las fábricas de cemento de todo el mundo.

Les boîtes à graisse des broyeurs à boulets, des broyeurs tubulaires, des rouleaux portant des fours, s'ils sont garnis avec l'étoupe Calypsol et graissés avec la graisse Calypsol peuvent fonctionner sans aucun soin pendant 6 à 12 mois.

Fournisseurs des Usines de ciment du monde entier depuis 30 ans.

DIAMOND LUBRICATING CO., LTD.,
MANCHESTER :: **ENGLAND**



**ELECTRICAL
EQUIPMENT
FOR THE
GREEN ISLAND
CEMENT WORKS
HONG KONG**

No less than 108 "METROVICK" MOTORS, with the necessary Control Gear, are employed in these important Cement Works.

The motors drive all types of machines used in the manufacture of cement—and aggregate an output of **5,400 H.P.**

The complete "Metrovick" equipment also includes 6 Transformers and 13 Switchboards of various types.

**DIE ELEKTRISCHE
AUSRÜSTUNG DER
GREEN ISLAND
ZEMENTFABRIK
HONGKONG**

Auf dieser bedeutenden Zementfabrik werden nicht weniger also 108 „METROVICK“-MOTORE mit den erforderlichen Reguliergetrieben verwendet.

Die Motore treiben sämtliche bei der Zementherstellung verwendeten Maschinentypen und besitzen eine Gesamtleistung von 5400 PS.

Die vollständige „Metrovick“-Ausrüstung umfasst auch 6 Transformatoren und 13 Schalttafeln von verschiedenen Typen.



**EQUIPEMENT
ÉLECTRIQUE
DES GREEN ISLAND
CEMENT WORKS
HONG - KONG**

Dans cette importante cimenterie, on n'a pas installé moins de 108 MOTEURS "METROVICK" avec leur appareillage de contrôle.

Ces moteurs actionnent les machines de tout genre qui servent à la fabrication du ciment... et totalisent une puissance de 5400 ch.

Dans l'équipement "Metrovick" sont également compris 3 transformateurs et 13 tableaux de distribution de divers types.

**EQUIPO ELECTRICO
PARA LA FABRICA
DE CEMENTO
DE GREEN ISLAND
HONG KONG**

Nada menos que 108 MOTORES "METROVICK," con los indispensables dispositivos y mecanismos auxiliares de control, se han empleado en esta importante fabrica de cemento.

Los motores accionan toda clase de máquinas usadas en la fabricación del cemento, reuniendo en total una potencia de 5.400 C.V.

El equipo completo "Metrovick" comprende tambien 6 transformadores y 13 cuadros de accesorios de diversos tipos.

**METROPOLITAN
Vickers**
SUBSIDIARY OF ASSOCIATED ELECTRICAL INDUSTRIES LTD.
ELECTRICAL CO. LTD.
TRAFFORD PARK ... MANCHESTER

"CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE"

VOL. IV. No. 10.

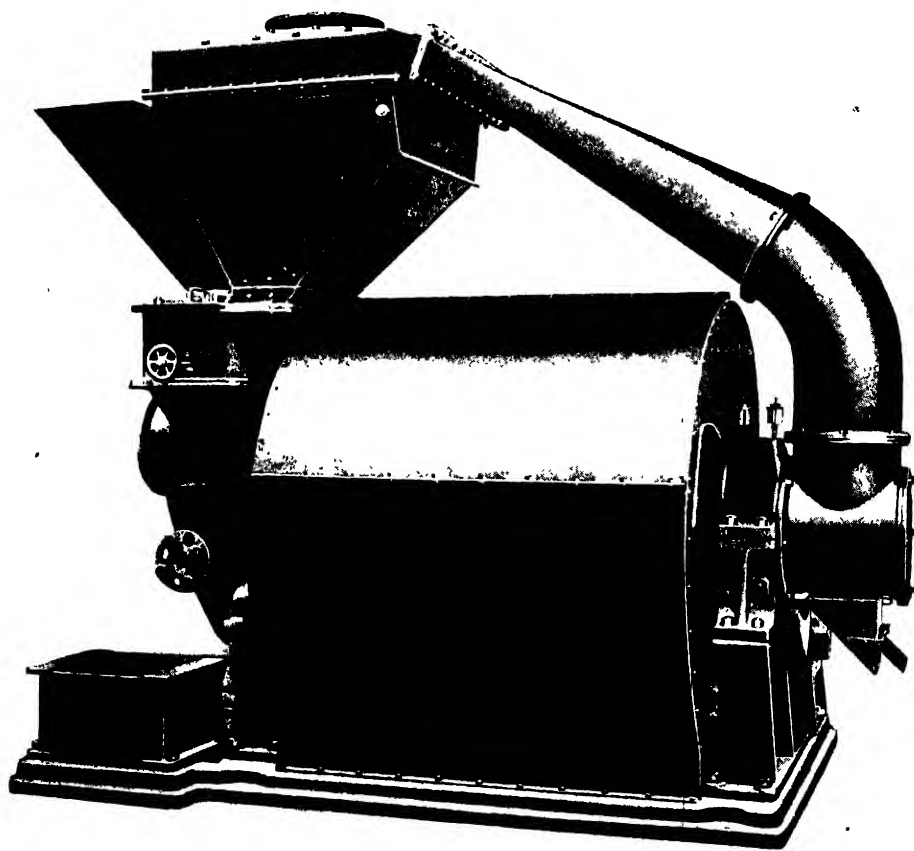
OCTOBER, 1931.

LEADING CONTENTS

	Printed in English. Page.	Publie en Français. Page	In Deutsch Gedruckt. Seite.	Editada en Español. Pág.
Modification of the Physical Properties of Cement produced by Carbonation. By F. L. Brady, M.Sc., A.I.C.	1105	—	—	—
Progress in Cement Research during 1930. I. By O. F. Honus	1110	—	—	—
Les progrès relatifs au ciment, pendant l'année 1930.—I. Par O. Fr. Honus	—	1141	—	—
Fortschrittsberichte über Zement im Jahre 1930.—I. Von Otto Fr. Honus	—	—	1182	—
Reseña de los progresos del Cemento en el año 1930.—I. Por Otto Fr. Honus	—	—	—	1197
The Hardening of Portland Cement. By F. F. Tippmann	1115	—	—	—
Contribution à l'étude du durcissement du ciment Portland. Par F. F. Tippmann	—	1147	—	—
Beitrag zum Erhärtungsproblem des Portlandzementes. Von Oberingenieur Friedrich F. Tippmann	—	—	1169	—
Contribución al problema del endurecimiento del cemento Portland. Por F. F. Tippmann	—	—	—	1203
A Comparative Study of the Portland Cement Industry in the United States of America, Canada, and the United Kingdom.—VIII. By Hal Gutteridge, A M.I.Mech.E., M.I.E.I.	1129	—	—	—
Etude comparative de l'industrie du ciment Portland aux Etats-Unis, au Canada, et en Angleterre.—VIII Par Hal Gutteridge	—	1160	—	—
Eine vergleichende Untersuchung der Portlandzementindustrie in den Vereinigten Staaten von Amerika, Kanada und Gross-Britannien.—VIII. Von Hal Gutteridge	—	—	1189	—
Estudio comparativo de la industria del cemento Portland en los Estados Unidos de Norteamérica, en el Canadá y en el Reino Unido.—VIII. Por Hal Gutteridge	—	—	—	1216
Air Filters	1139	—	—	—
Filtres à air	—	1168	—	—
Luftfilter	—	—	1196	—
Filtros de aire	—	—	—	1215

'BABCOCK'

PULVERISED FUEL EQUIPMENT
THE FULLER-BONNOT PULVERISER MILL
FOR DIRECT & SEMI-DIRECT FIRING
OF CEMENT KILNS



ROBUST — RELIABLE — ECONOMICAL

A slow-speed Pulveriser of absolute dependability. Gives constant fineness of grinding. For outputs from 1,500 to 10,000 lbs. coal per hour.

**BABCOCK & WILCOX,
LIMITED**

Babcock House, Farringdon St., London, E.C.4
Telephone : CITY 6470.

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

THE INTERNATIONAL FOUR-LANGUAGE CEMENT JOURNAL

MANAGING EDITOR: H. L. CHILDE. CONSULTING TECHNICAL EDITOR: S. G. S. PANISSET.

ENGLISH SECTION

PARTIE FRANÇAISE PAGE 1141

DEUTSCHER TEIL SEITE 1169

SECCIÓN ESPAÑOLA PÁG 1197

Modification of the Physical Properties of Cement produced by Carbonation.*

By F. L. BRADY, M.Sc., A.I.C.

(Of the Building Research Station).

IN a programme of investigation into the properties of concrete products which is being carried out at the Building Research Station for the Cast Concrete Products Association of Great Britain, an examination is being made of the process of atmospheric carbonation. Numerous references are found in the literature of cement relating to the effect of the process of atmospheric carbonation upon the chemical properties of cement, but very little attention has been paid to the physical changes which accompany the process of carbonation.

At first sight it might be thought that carbonation would produce only insignificant changes in the physical properties of cement, since apparently the conversion of crystalline calcium hydroxide to calcium carbonate is accomplished with only a slight change in volume. The best attested value for the density of pure powdered calcium hydroxide is that given by P. Joyce and P. Demont¹—2.239 gm. per cc.—agreeing with the value of Lamy², 2.236—2.239 gm. per cc., and markedly differing from that of Filhol³, 2.078 gm. per cc. The observations of F. W. Ashton and R. Wilson⁴, suggesting a value close to 2.20 gm. per cc., are further confirmation of Joyce and Demont's values.

* Crown Copyright reserved.

J. W. Mellor ("Inorganic and Theoretical Chemistry") cites a number of determinations of the density of calcite. Thus we have

	gm. per cc.
C. J. B. Karsten	2.6946
V. Goldschmidt	2.713—2.735
E. Madelung and R. Fuchs	2.7067—2.7121
J. Johnstone	2.71
L. Bourgeois (artificial calcite)	2.71

We shall not be far from the true values in taking 2.24 gm. per cc. for the density of crystalline calcium hydroxide, and 2.71 gm. per cc. for the density of calcite.

Now, per unit volume of 1 : 3 Portland cement-sand mortar having a density of 2.2 gm. per cc. (to take an average value) there will be roughly 11 per cent. by weight of water, 22 per cent. of cement, and 67 per cent. of sand. Assuming the cement to contain, when hydrated, 10 per cent. of free lime (an average value) or 13.2 per cent. of $\text{Ca}(\text{OH})_2$, we have, per 1 cc. of mortar

$$\frac{0.22 \times 13.2 \text{ gm.}}{100} \text{ Ca}(\text{OH})_2 = 0.029 \text{ gm. Ca}(\text{OH})_2.$$

This weight of free lime (if in the crystalline condition) will have a volume of

$$\frac{0.029 \text{ cc.}}{2.24} = 0.0129 \text{ cc.}$$

which, on carbonation, will be converted to

$$0.029 \times \frac{100}{74} \times \frac{1}{2.71} \text{ cc. of calcite} = 0.0145 \text{ cc. of calcite.}$$

There will therefore be an increase in volume of the specimen of

$$0.0145 - 0.0129 \text{ cc.} = 0.0016 \text{ cc., corresponding to a linear expansion of}$$

$$\frac{0.0016}{3} \text{ cm.} = 0.00053 \text{ cm., or 0.053 per cent.}$$

Thus in the process of carbonation, assuming this to consist in the conversion of free crystalline calcium hydroxide to calcite, we should expect a linear expansion of the order of 0.05 per cent. The effect actually observed in the tests which have been made at the Building Research Station, however, is a contraction, and we therefore conclude that the description given of the mechanism of the process of carbonation is either incorrect or incomplete.

In the first place it is somewhat doubtful whether the free lime in Portland cement is present in the crystalline form (F. F. Tippmann's observations⁵ on this point are not considered absolutely conclusive). If a proportion of the free lime is present in the form of a gel then the reasoning does not apply.

There is another important effect which must be considered. Analyses of weathered concrete specimens show that the carbonation of cements does not stop at conversion of the free lime to calcium carbonate; the cement gel is partially decomposed. We have therefore the effect that during carbonation there is introduced into the mass of hydrated cement gel a proportion of calcium carbonate. Microscopic examination shows that calcium carbonate is present in the form of crystals of the order of 5-10 μ long, that is, of an order of magnitude which is not accompanied by the characteristic colloidal properties. Thus the total proportion of the volume of a specimen of mortar or concrete occupied by what we may call "cement gel," using this term to describe the whole of the apparently* structureless ground mass is diminished by the process of

* As judged by microscopic examination.

carbonation. It would be expected that as a result of this change the physical properties of the cement—change in length due to change in moisture content, permeability, porosity, strength, modulus of elasticity—would also be changed.

Very few observations are to be found in literature on the physical effects accompanying carbonation. H. Passow⁶ tested the effect of carbon dioxide on a variety of mortars. He found the effect of carbon dioxide upon cement mortar manifested itself in a more or less intense rise in temperature, always accompanied by the separation of water. In tests on the effect upon the setting process he found that carbon dioxide produced the most marked effect when the test-pieces had lost a certain proportion of water and reached a certain degree of dryness. The effect upon set cement depended upon the age of the specimen, and was greater the higher the lime content of the cement. Passow also reported that a porous mortar was softened by the action of carbon dioxide, but that a dense mortar was strengthened. He expressed the opinion that during the action of carbon dioxide the process of hydration was promoted. With respect to the effect of carbonation upon strength, G. Natta and C. G. Fontana⁷ have recently expressed the same opinion.

J. Bied⁸ tested the effect of carbonation upon the shrinkage of cement pats applied to zinc plates. Cements stored in carbon dioxide saturated with water vapour showed no shrinkage until they were allowed to dry out in air. They contracted when removed to air, though not to the same extent as ordinary uncarbonated mortar. Two samples of rapid-setting cement showed a contraction on storage in carbon dioxide but expanded again on removal to air. Bied suggested that this expansional effect was possibly due to the presence of free lime. The general conclusion is drawn that exposure to an atmosphere of carbonic acid markedly diminishes contraction. No explanation of this effect is given. The observations on the effect of carbon dioxide upon the shrinkage of cement are not confirmed by the present work.

H. W. Gonell⁹ tested the effect of storage of soundness test pats in carbon dioxide, the cement having been gauged with sugar solution. He observed, as Passow had done, that pats stored during hardening in an atmosphere of carbon dioxide showed marked "sweating" (the expulsion of beads of water at the surface). "This," he says, "results from the decomposition of the initially formed gel at the outer layer by carbon dioxide, which results in the liberation of the water held in the gel." Goslich and Hart¹⁰ discovered in a compression test of a ten-year old specimen that a layer about 8 mm. thick spalled off all round. It was found that this layer was the material which had been affected by carbon dioxide.

Previous observations on the physical effects of carbonation are therefore incomplete and inconclusive, though from time to time reports have been made which provided valuable clues to the nature of the physical actions but which unfortunately have not been followed up. Forecasts of the probable effects of carbonation based on theoretical grounds cannot lead to any certain result since a great number of the data upon which such a forecast should be based are lacking. It remains to test the effect by experiment.

The effects of carbonation will be expected to result from a change in the gel structure of the cement. A knowledge of the extent and nature of the changes produced may therefore best be studied by an examination of the effect of carbonation upon that property which for cements is the clearest evidence of the colloidal character of the material, that is to say, upon the "moisture movement" or change in length produced by changes in moisture content. Accordingly tests have been made upon the shrinkage of prisms of cement mortar stored in air free from carbon dioxide and in carbon dioxide. For work of this kind

it is desirable partially to dry the mortar as Passow (*loc cit*) found, to obtain rapid reaction of carbon dioxide. The conditions suitable for this reaction have been worked out in the course of some other investigations made at the Building Research Station.

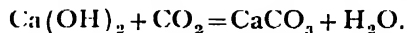
The test pieces examined were prisms $5\frac{1}{2}$ in. by $1\frac{1}{4}$ in. by $\frac{1}{4}$ in. of 1 : 3 cement-sand mortars mixed to a plastic consistence. The tests were made when the specimens were ten days old. The results of the tests are shown in Table I.

TABLE I.—EXPANSION AND CONTRACTION OF CEMENT MORTARS STORED IN AIR AND CARBON DIOXIDE.

Time	Per cent. Length Change					
	Portland Cement		Rapid-Hardening Portland Cement		Aluminous Cement.	
	In air	In CO ₂	In air	In CO ₂	In air	In CO ₂
1 hour	—	+ 0.010	—	+ 0.005	—	+ 0.003
1 day	— 0.0022	0.037	— 0.0015	— 0.041	— 0.0007	— 0.011
2 days	— 0.0040	0.051	0.0023	— 0.064	— 0.0011	— 0.019
4 "	— 0.0050	— 0.060	— 0.0037	— 0.075	— 0.0018	— 0.025
8 "	— 0.0064	0.065	— 0.0050	— 0.081	— 0.0022	— 0.034
16 "	— 0.0076	— 0.071	— 0.0070	0.086	—	—
32 "	—	—	—	—	—	—

Considering the values at periods of one day and over it is seen that with each cement there is a marked contraction on storage in carbon dioxide. Storage in air produces a slight contraction due to further drying of the partially-dried specimens. As all the specimens were stored in an atmosphere at the same humidity the difference cannot be due to a difference in respect of external humidity conditions, and the difference between the contraction in carbon dioxide and the contraction in air shows the effect of the carbon dioxide. Concurrently with the measurement of length changes, measurements of the changes in weight of the specimens were made and showed a slight loss in weight on storage in air (due to drying) and a marked gain in weight of the specimens stored in carbon dioxide.

The two Portland cements showed a slight expansion on first being exposed to carbon dioxide. There is at the same time a distinct rise in temperature, but the expansion is not solely due to this cause. Measurements of the temperature change of one specimen showed that the thermal expansion produced by rise in temperature would be only of the order of 1/40th of the length change observed. The true cause is probably shown by the chemical equation representing the action of carbon dioxide on the free lime in the specimens,



For every molecule of carbon dioxide absorbed one molecule of water is evolved. This water will either pass into the residual gel, or will be evaporated either partially or completely depending upon (a) the rate of absorption of carbon dioxide, (b) the density of the specimen, and (c) the external drying conditions. Not until this water has been removed and the specimen has attained a condition of equilibrium with respect to the external vapour pressure of water will the effect of carbonation *per se* be manifested. Actually when specimens of cement mortar are subjected to the action of carbon dioxide one may observe either a contraction, an expansion, or zero length change. Only with rigorous

control of humidity is the true effect of carbonation shown, and then, in all cases examined up to the present, a marked contraction is observed.

The present work is as yet only in a preliminary stage, but it is considered that sufficient has been done to show that by the process of atmospheric carbonation marked physical effects are produced, one effect being a marked contraction. The importance of this in connection with the defects such as crazing which occur at the surface of concrete exposed to the atmosphere hardly needs emphasising. The necessity also of attention to the composition of the atmosphere used in the storage of cement specimens used in observations of drying shrinkage (especially if the specimens are of small size and the observations carried out over long periods) is considered to be demonstrated.

Earlier in this paper it was stated that the effect of carbonation is to reduce the total volume of a cement specimen occupied by the cement hydrate gel. It is clear from the tests on aluminous cement, which contains only a trace of free lime, and from other data not here reported, that not only is the free lime carbonated but that there is some decomposition of the cement hydrates. Thus not only is the volume of gel changed, but the chemical composition of that remaining is changed also. The gel remaining after carbonation is complete will be richer in silica and alumina and poorer in lime. It may actually consist partly of silica and alumina gel. This gel, undoubtedly different in chemical composition from ordinary cement gel, may also differ in its moisture movement. This has yet to be examined. It is clear then that at the surface of concrete exposed to the atmosphere we have a material fundamentally different from the mass of concrete below. The properties of the carbonated material have yet to be determined fully.

It is hoped later to publish a fuller account of the investigations on the effects of carbon dioxide upon the physical properties of cement.

LIST OF REFERENCES.

- ¹ Joyce, P., and Demont, P. — "The Specific Gravity of Calcium Hydroxide and the part played by this substance in the Shrinkage of Portland cement" — *Journ. Chim Physique*, 1929, 26, 317.
- ² Lamy, A. — *Ann. Chim. Phys.*, 1878, 14, 145.
- ³ Filhol, E. — *Ann. Chim. Phys.*, 1845, 7, 271.
- ⁴ Ashten, F. W., and Wilson, R. — "The Preparation and Optical Properties of Calcium Hydroxide Crystals" — *Am. Journ. Science*, 1927, 13, 209.
- ⁵ Tippmann, F. F. — "Some Observations on Calcium Hydroxide and its Functions in the Hardening Process of Portland Cement." — *Kolloid Zeitschrift*, 1931, 55, 85. See also "Hardening of Portland Cement," p. 1115, current number, CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE.
- ⁶ Passow, H. — "The Action of Carbon Dioxide on Cement Mortar" — *Protokoll*, 1896, 19, 128.
- ⁷ Natta, G., and Fontana, C. G. — "Retrogression of Porous Concretes" — *Giorn. Chim. Ind. Appl.*, 1931, 13, 173.
- ⁸ Bied, J. — "Industrial Researches on Lime, Cements and Mortars," pp. 227, *Pub. Dunois*, Paris.
- ⁹ Gonell, H. W. — "The Influence of Sugar on the Setting and Hardening of Portland Cement." — *Zement*, 1929, 18, 372, 437, 472.
- ¹⁰ Goshich and Hart. — "The Effect of Carbon Dioxide upon the Hardening of Portland Cement." — *Zement*, 1923, 12, 262, 4.

New Swedish Cement Works.

The works of the Skanska Cement A.B. at Hellekis commenced production in September. The approximate cost of construction was 3,500,000 Kr. and the yearly capacity is stated to be 500,000 barrels.

Progress in Cement Research During 1930.—I.

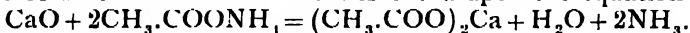
By O. F. HONUS.

Analytical.

J. BASSO OLIVA¹ has developed the following process for rapid determination of iron oxide in cement. The method depends on the titration of the cement solution with TiCl_3 (stored in an atmosphere of hydrogen); using an automatic burette, 0.5g cement is dissolved in 20-30 cc. water and 10 cc. conc. HCl , heating until the reaction is complete. The solution is diluted with 70 cc. water, and KMnO_4 is added until a permanent pink colour is obtained; 5-6 cc. KCNS is then added and the liquid rapidly titrated with TiCl_3 , without shaking the flask, until the red colour disappears. The TiCl_3 solution is standardised by ferric ammonium sulphate and methylene blue solutions.

A. Heiser² publishes the following method for indirectly determining the lime in cement, using Sorensen sodium oxalate. Exactly 1 g. of cement is taken and the sesquioxides separated in the usual way. The filtrate is acidified with HCl and boiled, 1.9832 g. sodium oxalate (corresponding to 0.8300 g. CaO) being added to the boiling solution. When the oxalate has dissolved and the reaction is finished, HCl is added to the boiling liquid until solution is complete. The calcium oxalate is then precipitated by the drop-by-drop addition of ammonia. After settling, the precipitate is filtered and washed with hot water, the filtrate collected in a standard flask, and an aliquot part is treated with $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4$ and titrated at 70 deg. C. with $\text{N}/10$ permanganate. Investigation into the use of filtration methods in the gravimetric analysis of Portland cement has been carried out by H. Th. Bucher and F. W. Meier³. They suggest that silicates rich in lime, particularly Portland cement, should be treated with nitric acid, since $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ is soluble in alcohol. The separation of silica is thereby greatly facilitated. A new scheme of analysis for Portland cement is given.

R. H. Bogue⁴ derives a method of calculation from the analytical results, and gives three nomograms from which the amounts of $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, free CaO , free MgO and gypsum can be obtained. The improved method of W. M. Lerch and R. H. Bogue⁵ for determining the free lime in Portland cement is based upon the equation:



A solution is prepared containing one part by volume of glycerine and five parts absolute alcohol, with 2 cc. 1 per cent. phenolphthalein solution per litre. This is made exactly neutral by the addition of dilute alcoholic NaOH or ammonium acetate. The standard solution is prepared by dissolving 16 g. cryst. amm. acetate in 1 litre abs. alcohol, and is standardised against a lime solution. Calcium oxalate is heated at 900-1000 deg. C. to constant weight, and 0.1 g. is placed in a 200 cc. Erlenmeyer flask containing 60 cc. glycerine-alcohol solution, well shaken, and boiled for 20 mins. under a reflux condenser. It is then titrated hot with the acetate solution, boiled a further 20 mins. and again titrated, and so on until no further red coloration appears. In the same way 1 g. powdered cement is treated with 60 cc. of the glycerine-alcohol solution in

¹ Chim. et Industrie, Vol. 23, Special No. 3, p. 378, 1930.

² Zement, Vol. 19, p. 1, 154, 1930.

³ Z.f. Analyt. Chem., Vol. 82, p. 1, 1930.

⁴ Ind. Eng. Chem., Analyt. Ed., Vol. 1, p. 192, 1929.

⁵ Ibid., Vol. 2, p. 296, 1930.

a 200 cc. Erlenmeyer flask, titrated, and the CaC-content calculated. The alcohol used must be free from water, and it is essential that the cement should be extremely finely powdered. G. E. Bessey⁶ gives a modification of the glycerine method, proposing to extract the free lime with glycerine alone, and to titrate with alcoholic benzoic acid solution.

On titrating powdered cement with 1 per cent. acetic acid in the presence of CO₂, using H-acid (1, 8, 3, 6 aminonaphthol-disulphonic acid) coupled with diazotised p-nitraniline as indicator, H. Th. Bucherer and F. W. Meier⁷ observed halts in the turning of the indicator; they explained these halts as due to consecutive reactions with the individual constituents of the cement.

P. Erculisse⁸ undertook a critical investigation of the methods for the analysis and testing of cement, and suggests simple molecular formulæ to give the amounts of the various compounds present. The amount of water to be added to the cement should be adjusted in accordance with the results obtained.

Lime, Silica, Alumina, Clay, Calcium Silicates, Aluminates and Ferrites.

(1) **Calcium Hydroxide.**—According to Hüttig and Arbes⁹ the dehydration isobars clearly show the existence of the monohydrate, CaO.H₂O. The decomposition temperature of the specimens obtained by various methods lies between 385 and 398 deg. C. at 10 mm. pressure. The value obtained from thermodynamic calculations is in agreement with these figures. Th. Thorvaldson and W. G. Brown¹⁰ determined the heat of solution of three differently prepared specimens of Ca(OH)₂ in HCl+200 H₂O. They obtained a mean result of 550 g. cal. per g. CaO, or 30.85 kilocal. per Mol., as compared with the values of Thomsen, 30.49, and Berthelot, 30.96. No evidence was found for the existence of a higher hydrate than CaO. H₂O at 21 deg. C.

(2) **Silica.**—Pressure-composition diagrams have been obtained by P. A. Thiessen and O. Körner¹¹ for the dehydration of the coarse silica hydrates resulting from the slow decomposition of orthosilicic ethyl ester in alcohol. The curves for 11 deg. C. show a well-defined series of steps. In addition to the hydrates whose existence is already established, viz., SiO₂.2H₂O, 2SiO₂.3H₂O, and SiO₂.H₂O, a further hydrate, 2SiO₂.5H₂O, has been found. The step corresponding to this hydrate is not sharply marked, probably because of its comparative instability. Isothermal decomposition at higher temperatures (32 deg. C.) demonstrates the existence of an additional dehydration step corresponding to 2SiO₂.H₂O. There is, on the other hand, no evidence for the formation of polysilicic acids by the decomposition of the higher hydrates of SiO₂ in the solid state. These authors later¹² propose a method for preparing the pure hydrates of silica based upon the pressure-composition diagrams.

(3) **Alumina.**—Thermochemical and X-ray spectrographic methods were used by E. Klever¹³ for studying the dehydration of hydrates of alumina. A preparation which was identified by the X-ray method as Bayerite was dehydrated at 1200 deg. C. and the heat of solution of the products in 40 per cent. HF was determined between 18.52 and 54 deg. C. The resulting curves, together with the X-ray powder spectra, permitted the progress of dehydration to be established as follows: up to 210 deg. C. the space lattice of the original material

⁶ J. Soc. Chem. Ind., Vol. 49, p. 360, Trans., 1930.

⁷ Zement, Vol. 19, p. 1, 134, 1930.

⁸ Chimie et Industrie, Vol. 21, p. 475, 1930.

⁹ Z.f. Anorg. Allg. Chem., Vol. 191, p. 161, 1930.

¹⁰ J. Amer. Chem. Soc., Vol. 52, p. 80, 1930.

¹¹ Z.f. Anorg. Allg. Chem., Vol. 189, p. 168, 1930.

¹² Ibid., Vol. 189, p. 174, 1930.

¹³ Trans. Ceram. Soc., Vol. 29, No. 5, p. 149, 1930.

remains unchanged. Between 210 and 900 deg. a new lattice appears which is attributed to γ - Al_2O_3 . Between 900 and 1200 deg. certain new lines became evident which may be considered as due to the recrystallisation of the γ -lattice. It is not until the temperature 1200 deg. is exceeded that the space lattice of α -corundum appears. The value 92.5 kilocal. per Mol. for anhydrous alumina, obtained by extrapolation from the curve of heat of solution, is attributed to the γ -modification. The existence of a monohydrate is concluded, for which the heat of hydration is calculated as 27.5 kilocal. per Mol. A new determination of the heat of solution of quartz in 40 per cent. HF gave the value 34.12 ± 0.15 kilocal. per Mol. The X-ray spectra of kaolin dehydrated at 650 deg. C. gave no indication of the presence of free Al_2O_3 , so that the theory that Kaolin is decomposed into Al_2O_3 and SiO_2 around this temperature appears improbable, and the existence of an anhydrous form of kaolin (metakaolin) is assumed.

(4) **Ferric Hydroxide.**—The part played by Fe_2O_3 in the constitution of cement is not yet fully elucidated. According to Hüttig and Carside¹⁴ the vapour pressure curve of freshly precipitated ferric hydroxide is without break, irrespective of the water content, and is thus characteristic of a colloidal or preponderantly colloidal system. Th. Thorvaldson, W. G. Brown and C. R. Peaker¹⁵ determined the heat of solution of tricalcium aluminate and its hydrates, and found the value 214 g. cal. per g. or 57.78 kilocal. per Mol. for the heat of hydration of $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ to give $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. The heat of formation of $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ from CaO and Al_2O_3 was obtained by combining their own values with values obtained from the literature, the result being 77 g. cal. per g. or 2.079 kilocal. per Mol.

R. Nacken¹⁶ investigated the heat of solution of the mono- and di-calcium silicates and calculated the heats of formation of various silicates as follows:

		Heat of Solution. Kilocal per Mol.	Heat of formation from the Oxides. Kilocal per Mol.
Ca_2SiO_4	.. ..	92.671	36.109
Sr_2SiO_4	.. ..	96.294	32.956
Ba_2SiO_4	.. ..	85.030	25.190
βCaSiO_3	.. ..	48.996	28.877
αCaSiO_3	.. ..	50.768	28.105
SrSiO_3	.. ..	57.418	24.660
BaSiO_3	.. ....	50.300	20.209

Synthesis, Constitution and Petrography of Cements.

R. Rieke and E. Völker¹⁷ studied the chemical reaction resulting from burning CaO and MgO with clay and clay-containing materials. They established that the amounts of Al_2O_3 and SiO_2 converted into the soluble form and reacting with CaO are in the ratio of 1:2; also, that the relation $\text{CaO} : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ approaches that of anorthite, 1:1:2, as the burning temperature increases. In the presence of MgO the reaction proceeds quite differently. Up to 900 deg. C. MgO remains for the most part soluble in acids, but at higher temperatures this solubility diminishes, in contrast to the behaviour of CaO . Further, very little clay substance combines to give acid-soluble material. Mixtures of CaO and MgO behave in the same way as the individual components. Heating curves of CaCO_3 and SiO_2 in the proportions 2:1 and in the presence of B_2O_3 (boric

¹⁴ Z.f. Anorg. Allg. Chem., Vol. 185, p. 403, 1930.

¹⁵ J. Amer. Chem. Soc., Vol. 52, p. 3,927, 1930.

¹⁶ 53rd Gen. Meeting, Assoc. German Portland Cement Manufacturers.

¹⁷ Ber. Deutsche Keram. Ges., Vol. 11, p. 608, 1930.

acid)¹⁸ showed an exothermic effect at 1420 deg. C. which is ascribed to the formation of silicates. This was followed by an endothermic effect, attributed to the transformation from the β to the α form. The first of these reactions was not influenced by the B_2O_3 , but the second was accelerated by it. Similar heating curves were obtained with mixtures of the oxides found in clinker, in the proportions found in practice; in this case the break in the curve occurred at 1300 deg. The effect of B_2O_3 was here very small, but it was remarkable that the clinker contained a greater amount of free lime.

W. C. Hansen¹⁹ investigated the effect of fluxes on the fusion of Portland cement mixes. In the absence of fluxes he found a fusion temperature of 1455 deg. C.; on adding MgO , 1375 deg.; on replacing MgO by Fe_2O_3 , 1340 deg.; with additions of $MgO + Fe_2O_3$, 1300 deg.; with Na_2O , 1430 deg.; with $Na_2O + MgO$, 1340 deg.; with $Na_2O + Fe_2O_3$, 1315 deg.; and in the presence of all these oxides, 1280 deg. H. Luftschitz²⁰ fused aluminous cement, rich in MgO and containing 10 per cent. FeO , but only a minimum of $CaO + SiO_2$, at 1800 deg. A practicable cement could not be obtained in these experiments. A. J. Blank²¹ produced Portland cement raw mixes containing 8-19 per cent. MgO , but they balled together on burning in the rotary kiln. Although the cement had good strength, it ultimately crumbled. Less poor, and indeed usable, were cements containing 6.2 to 7.6 per cent. MgO . S. Nagai and K. Akiyama²² used puzzolana rich in iron for producing K hl cement, and proved that it fixed the lime on burning, which was complete at 1035 deg. The resulting cement attained a crushing strength of 9243 lb. per sq. in. at 28 days. In another instance²³ a copper slag rich in iron and a loamy clay were worked to give a K hl cement.

Further investigations²⁴ dealt with the production of K hl cement from various natural raw materials. The highest strengths were obtained with the highest R_2O_3 contents (7-9 per cent., of equal parts Fe and Al), and with a CaO content of 61.7-62.5 per cent. In a continuation of this work in collaboration with K. Asaoko²⁵, a cement of the percentage composition 65 CaO , 9 Fe_2O_3 , 2 Al_2O_3 , 22 SiO_2 was obtained at 1450 deg. from copper slag, burnt pyrites and limestone. Its strength was less than that of K hl and Portland cements.

N. P. Costa²⁶ investigated the crystallographic properties of the constituents of dry process Argentine and wet process German Portland cements and French fused aluminous cement. As a result of comparisons of sections of untreated clinker and various quenched experimental materials, conclusions were drawn regarding the chemical nature and spatial configuration, and regarding the proportions of the constituents as related to the method of quenching. On account of the poverty of Japan in earths of high alumina content, S. Nagai²⁷ attempted to produce a lime-alumina cement containing 30 per cent. Al_2O_3 and 50 per cent. CaO . Test pieces of this cement lost strength on water storage, but increased in strength on combined storage. An addition of 0.5-1 per cent. borax²⁸ exerted a favourable influence on the burning temperature and on the clinker, but again the strength was seriously reduced by water storage, as a

¹⁸ J. Franklin Inst., Vol. 209, p. 837, 1930.

¹⁹ Bureau Standards, J. Res., Vol. 4, p. 55, 1930.

²⁰ Tonind. Zeit., Vol. 54, p. 887, 1930.

²¹ Concrete, Vol. 37, No. 2, p. 85, 1930.

²² J. Soc. Chem. Ind., Japan, Suppl. 33, p. 47B, 1930.

²³ *Ibid.*, p. 85B.

²⁴ *Ibid.*, p. 137B.

²⁵ *Ibid.*, p. 312B.

²⁶ Ann. Soc. Cient., Argentina, Vol. 109, p. 73, 1930.

²⁷ J. Soc. Chem. Ind., Japan, Suppl. 33, p. 167B, 1930.

²⁸ *Ibid.*, p. 196B.

result of lime solution. Nagai and Asaoko²⁹ produced synthetic calcium ferrite and iron cements. Only $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ is hydraulic, and this hardens only in the air.

R. Brill³⁰ concludes from the identity of the Debye spectra of melts of the composition $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ and $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ that the two are identical, the former containing free lime. Guttman and Gille³¹, however, consider that Brill did not obtain the compound $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, because his material was fused and was not heated sufficiently long afterwards. According to Nagai and Asaoka³² $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ is formed only with great difficulty in the absence of aluminates and ferrites.

Nagai and Naito³³ heated a mixture of oxides of the composition of Jäneckeite ($8\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$), and found the lime to have completely combined. The sintered product gave a strength of 697 lb. per sq. in. after 28 days' combined storage.

K. Koyanagi³⁴ endeavoured to obtain spherulithic crystals from alumina-lime melts by slow cooling. He succeeded with melts of composition $3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$. No such compound was found by G. A. Rankin in his study of the system $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$, but Koyanagi's experiments seem to indicate its existence. Brownmiller and Bogue³⁵ used the X-ray method for investigating the constitution of Portland cement. It was shown that the compound $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ does exist, and that it can be obtained by heating the oxides. CaO does not appreciably enter into solid solution with $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Mixtures of the two oxides containing 2.3 Mols. CaO to 1 Mol. SiO_2 contain after heating a mixture of $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ and γ or β $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. The existence of the compound $8\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ cannot be authenticated either in the system $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ or in Portland cements. On burning a mix of this composition, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, β $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ and $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ are found, with free CaO when equilibrium is incomplete. In technical clinkers free lime is not found, although 2.5 per cent. can readily be detected by X-ray spectroscopy. The smallest quantities of the various compounds that can be recognised by this method are 8 per cent. $\beta\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; 15 per cent. $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; 6 per cent. $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$; 15 per cent. $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$; 2.5 per cent. MgO ; and 2.5 per cent. CaO .

I. Weyer³⁶ studied the crystallisation of minerals from fusions of Kaolin-lime mixes. First he confirmed the existence of the compounds $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ and $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, by using chemically pure components and subjecting the products to microscopic and X-ray analysis. The formation of $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ from synthetic raw meals commences at 1300 deg. C. Mixtures of metakaolin ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) and CaO in the proportions 1 : 8, 9, 10, and 12 were then burnt at 1450 ± 10 deg. for 5-6 hours. In burns containing less than 9 Mols. CaO to 1 Mol. metakaolin, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ preponderated. In burns with more than 9 CaO , $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ was no longer found; all the SiO_2 was combined as $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Burning at higher temperatures had no further effect. X-ray and staining experiments with "patent blue" showed that the hydraulic properties of Portland cement are due to practically pure tricalcium silicate, which may be considered to be alite, and which has no power of forming mixed crystals with $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.

(To be continued.)

²⁹ J. Soc. Chem. Ind., Japan, Suppl. 33, p. 190B, 1930.

³⁰ Zement, Vol. 19, p. 914, 1930.

³¹ Ibid., Vol. 19, p. 914, 1930.

³² J. Soc. Chem. Ind., Japan, Suppl. 33, p. 315B, 1930.

³³ Ibid., p. 256B.

³⁴ Ibid., p. 352B.

³⁵ Amer. J. Sci., Vol. 20, p. 241, 1930; and Bureau Standards J. Res., Vol. 5, p. 813, 1930.

³⁶ Dissertation, Kiel, 1930.

The Hardening of Portland Cement.

By F. F. TIPPMANN.

THE theories put forward to explain the hardening of Portland cement may be summarised in the following three groups:

- (1) The crystallisation theory, supported by Le Chatelier and others;
- (2) The colloid (gel) theory of Michaelis, the present most important supporters of which, in its amplified form, are Kühl, P. H. Bates, and Hauenschild; and
- (3) The crystalloid-colloid theory, championed by Keisermann, Blumenthal and Scheidler, and more recently by Biehl, Gonell, and others.

It is characteristic of all these theories that very little attention is paid to the calcium hydroxide set free on the hydration of cement. Its formation is considered to be an unimportant secondary phenomenon, which under certain circumstances can even be injurious, and it is denied that it plays any definite part in hardening. Further, very varying views are held as to the quantity of Ca(OH)_2 actually set free.

It would require too much space to enter into a description of these theories, which have frequently been comprehensively dealt with in the literature, and we will accordingly confine ourselves to a critical treatment of Kühl's views in their relation to the researches of the present author.

Kühl's theory has been very clearly summarised in an article which appeared in the January, 1931, number of CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE. He appears to have abandoned his former view "that even the best and soundest Portland cement gives rise on hydration to considerable quantities of calcium hydroxide, which can readily be observed as hexagonal tables in the microscopic examination of hardened mortars."¹ Thus in this latest article it is stated that he has failed over a period of many years to discover in thin sections of set cement, the plates, needles and gel that can be readily observed with cement in excess water; only very exceptionally an isolated plate-crystal of Ca(OH)_2 was to be observed. It is therefore supposed that the newly-formed particles are embedded in a colloidal mass and are almost entirely submicroscopic. Crystal formation is only found in old specimens of hardened mortar, so that there must be a transformation of the colloidal ground-mass into the crystalline state during ageing. According to Kühl, hydrolysis is incomplete when normal quantities of water are used; the liberation of the hydroxides of lime, silica and alumina is incomplete, so that crystals such as are observed in the presence of excess water cannot be produced. Kühl thus adopts the gel theory of Michaelis, according to which hardening is due to the shrinkage of a colloidal gel. Although he admits that a certain tendency to crystallisation exists, he considers it does not affect the main problem; otherwise the microscopic examination of hardened cement would show the presence of needle and plate crystals. On the completion of hydration there remains a certain quantity of free Ca(OH)_2 present in the hardened cement, the greater part, or at least some portion, of which first separates in amorphous or colloidal form, since the polarisation microscope gives no evidence of crystal structure in freshly set mortar.

The only crystalline product of hydration that Kühl definitely accepts as existing in cement mortar is calcium sulphoaluminate, and even this has not been detected in thin sections. He does not, however, consider that this con-

¹ Lecture to the Association of German Portland Cement Manufacturers, March 2, 1912

tradicts his theory that hardened mortar almost entirely consists of an amorphous gel, since the small amount of fine needles of the sulphoaluminate is embedded in the gel.²

Kühl³ rightly rejects the method of research in excess of water used by Blumenthal, Keisermann, Scheidler, etc., which is quite unrelated to practical conditions. The method of Pulfrich and Link,⁴ in which the water is gradually replaced by glycerine, is also unsound, since glycerine, like sugar, retards crystallisation, as was proved by Donath⁵ and the present author.

Kühl's favourite method of investigation is the microscopic examination of thin sections. He finds, however, and my own experience agrees with his, that this method is far from being as fruitful as is desirable. I have more recently studied numerous specimens of hardened cement, both etched and unetched, under perpendicularly incident illumination, but with the same negative results. I finally came to the conclusion that the methods involving both thin and polished sections were too insensitive at the magnifications



Fig. 1.



Fig. 2.

available. The use of even the finest polishing powder must result in fine scratches which will frequently mask the structure.

Some five years ago I pointed out that it appeared illogical to study the hardening of the complex substance Portland cement before anything like certainty prevailed as to the mechanism of hydration of the more important of its separate constituents. Attention was especially directed to certain phenomena attending the hydration of lime, but unfortunately little attention was paid to the suggestions. I was nevertheless inspired to further research by the observations that in no case in which $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is produced by hydrolysis is there a true slaking of the lime, while the hydroxide always separates in the crystalline form; on the other hand, the slaking of pure lime gives exclusively an amorphous-colloidal hydroxide, and no crystalline hydroxide is formed even after ten years. Further, gypsum has a retarding effect on the first reaction, but ultimately causes a more copious separation of the crystalline hydroxide. The results of these investigations

² CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, Vol. 4, p. 14, 1931.

³ "Zement," Vol. 13, p. 362, 1924.

⁴ "Kolloid Zeits.," Vol. 34, p. 117, 1924.

⁵ "Chem-Industrie," Vol. 34, p. 123, 1911.

give new form to the prevailing views on hardening. A complete account of this work will be published under the title "Physico-chemical and mineralogical-crystallographic studies on calcium hydroxide. The hardening power of colloidal gels, and the setting and hardening of Portland cement, considered in the light of the property of crystallisation possessed by a modification of calcium hydroxide." The following is a summary of this work insofar as it directly relates to the hardening of Portland cement.

(1) Only lime formed by hydrolysis is capable of crystallisation. The lime passes from molecular solution direct to the crystalline state, i.e., without passing through an intermediate colloidal phase.

Pure calcium oxide—whether treated with a normal quantity or excess of water—gives exclusively an amorphous partly colloidal hydrate, and, so long as saturated lime-water remains in contact with the amorphous solid phase, no crystalline hydroxide is formed even after many years.

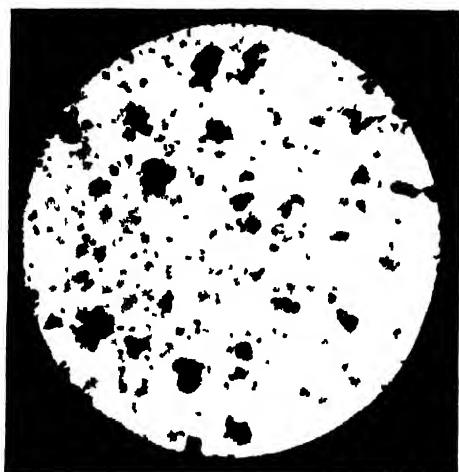


Fig. 3.



Fig. 4.

Fig. 1 shows a sample of Portland cement covered with water, and many $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals are evident clinging to the sides of the container. By contrast, the left-hand bottle in Fig. 2 contains water over slaked amorphous lime (from the purest caustic lime); even after two years, microscopic examination fails to indicate any trace of crystalline hydroxide.

(2) The presence of certain substances—such as calcium sulphate, and to a less extent gelatinous silica—converts amorphous calcium hydroxide into the condition in which it can crystallise. Fig. 2 (right) shows how gypsum prevents the slaking of caustic lime to the amorphous hydroxide, and catalytically effects the plentiful separation of crystalline hydroxide. Figs. 3 and 4 show photomicrographs corresponding to Fig. 2.

These phenomena throw new light on the action of gypsum in retarding the set and increasing the strength of cement. An excellent mortar can be prepared from caustic lime and lump gypsum, the hardening of which depends on the formation of crystalline calcium hydroxide.

(3) The needle crystals formed on treating cement with great excess of water, generally regarded as monocalcium hydrosilicate, are also obtained—under the same conditions, and having the same form and optical properties—

on the hydration of the purest caustic lime by water containing a trace of dissolved gypsum. Thus these crystals cannot really be calcium hydrosilicate, but are crystalline calcium hydroxide. Fig. 5 shows the formation of these crystals on the hydration of the purest calcium oxide. These needle crystals, which are a somatoid form of crystalline calcium hydroxide, are of no importance as regards hardening, and are not produced in cement mortar under normal conditions. Even with great excess of water these needles are not formed if the cement grains are sufficiently closely packed to give a homogeneous concentration of dissolved calcium hydroxide.

(4) The reaction $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ proceeds with reduction of volume when the crystalline hydroxide is formed, and with an increase in volume when the amorphous colloidal product results. Using the following data:

CaO : Mol. wt. = 56.07 ; Sp. gr. = 3.3

H_2O : Mol. wt. = 18.016; Sp. gr. = 1

$\text{Ca}(\text{OH})_2$: Mol. wt. = 74.086; Sp. gr. = 2.23 (cryst.)
2.08 (amorphous-colloidal);



Fig. 5.

it is found that the crystalline product is produced with a shrinkage of 5.06 per cent., and the amorphous product with an increase of 1.56 per cent., on the original volumes of the reacting materials. The formation of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ from plaster of Paris and water results in a contraction of 9.32 per cent.

Kühl's flask experiment affords no absolute criterion for a contraction of Portland cement on hydration. It is possible for the meniscus to sink in the measuring tube even though the solid phase is expanding. Until we know the manner in which water of crystallisation and the water of colloidal gels are held, this question cannot be definitely answered. Interesting results are

obtained when water is replaced by various solutions, e.g., lime, gypsum and sugar, in the Kühl flask experiment. These are dealt with in the exhaustive thesis mentioned.

(5) Since the two known modifications of calcium hydroxide possess such diverse properties, there appears to be no object in attempting the synthetic preparation of hydrated calcium silicates by the interaction of pure CaO or lime-water and colloidal silica. It has not hitherto been possible to prepare a definite—crystalline or colloidal—calcium hydrosilicate, and probably this never will be possible at normal temperatures.

It is only at high temperatures that silica has a marked acidic character, and combines with lime. At ordinary temperatures it is only feebly acidic and possesses only a feeble affinity for $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in solution. In the author's view the slight tendency to the formation of calcium hydrosilicate depends upon the capacity of the colloidal silica to adsorb calcium hydroxide upon its surface, and to condense it in the micropores, in a manner analogous to the absorption of hydrogen by finely-divided platinum or palladium. Thus two distinct phenomena play their part: (1) A distinct but very feeble affinity between

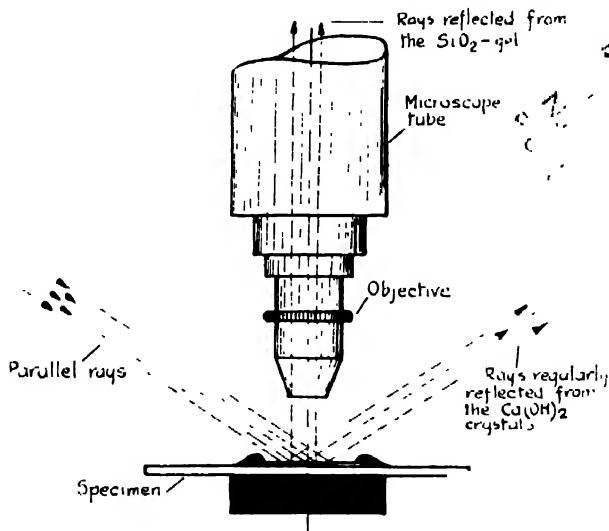


Fig. 6.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ and SiO_2 ; (2) The effect of the capillary forces in the micropores of the silica gel results in a considerable condensation of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution in the gel. These phenomena can be considered as stages in the formation of calcium hydrosilicate; but it is not finally produced, as the proper conditions are lacking. The ultimate result—particularly in the hardening of Portland cement—is that $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystallises in cryptocrystalline form from the saturated lime-water in the micropores, and sets up an apparent crystalline transformation of the gel-phase; this may be termed the “ageing” of the colloidal phase. The crystalline $\text{Ca}(\text{OH})_2$ thus contributes in the highest degree to dehydrating and increasing the density—and therefore hardening—the colloidal silica.

The porous microstructure of silica can be clearly observed at a magnification of 1,000 to 1,500; this is especially the case with the silica precipitated

on the decomposition of Portland cement with hydrochloric acid, which is not so gelatinous when it is first thrown down as it becomes after heating in suspension for a time. The manner in which lime water replaces the pure water in gelatinous silica is also interesting. This may be followed microscopically by carefully adding saturated lime-water tinted red with anthrapurpurin to gelatinous silica in distilled water.

(6) Kühl is a convinced adherent of the gel theory because he failed to discover any crystalline constituent in hardened cement mortar other than calcium sulphoaluminate; particularly, he has not found crystalline $\text{Ca}(\text{OH})_2$. It is, however, possible that his methods were inadequate: further, he concentrated on the "hexagonal tables," while under the condition of high viscosity prevailing in fresh normal mortar, an alternative form of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is to be expected.

Fig. 6 shows schematically a simple microscopic method of studying the setting and hardening of normal cement mortars. This not only permits direct observation of the crystalline $\text{Ca}(\text{OH})_2$, but also shows how the hydrate



Fig. 7.



Fig. 8.

separates in the crystalline form on hydrolysis, thus giving a new aspect to the theory of hardening.

For the purpose of this method a cement mortar of standard consistency is placed on a microscopic slide and spread into a thin layer by manipulation of the cover-slip, the edges of the slip being then sealed with paraffin wax. Since the slide is to be examined under obliquely incident light, the thickness of the mortar layer is unimportant. By using cement passing the 180 or 250 sieve, however, a layer can be produced sufficiently thin for additional examination by transmitted light, which gives further valuable results.

As shown in Fig. 6, the surface of the specimen is examined under obliquely incident light. The rays which meet crystal surfaces are regularly reflected, and so do not reach the eye-piece; thus crystals appear dark in the field. By contrast, colloidal matter, which has no defined surfaces but consists of an irregular foam-like mass, reflects a portion of the light so that it reaches the eye-piece, and the field is illuminated.

The method does not admit of great magnifications being used, since it is essential to maintain an appreciable space between the specimen and the objec-

tive. Good results are, however, obtainable with low magnifications; the author has used an objective of 12.6 mm. focal length (Winkel's achromat No. 3a) in conjunction with a Winkel-Zeiss compensated eye-piece No. 6, giving a linear magnification of 205. The photomicrography of such surfaces is extremely difficult.

The examination of cement gauged with the normal amount of water gives results similar to those shown in Figs. 7 and 8, even after only 8-10 hours. The dark areas represent crystals of calcium hydrate, and the light foam-like ground-work consists of silica gel of high water content and undecomposed cement particles. The crystals of hydrated lime in hardened Portland cement mortar are not hexagonal tables, but thin somatoid lamellæ of indefinite form, corresponding to the high viscosity of the surrounding medium. Their growth is extremely rapid.

If the specimen is sufficiently thin for examination by transmitted light, the luminescence seen between crossed Nicols after two or three days is much



Fig. 9.



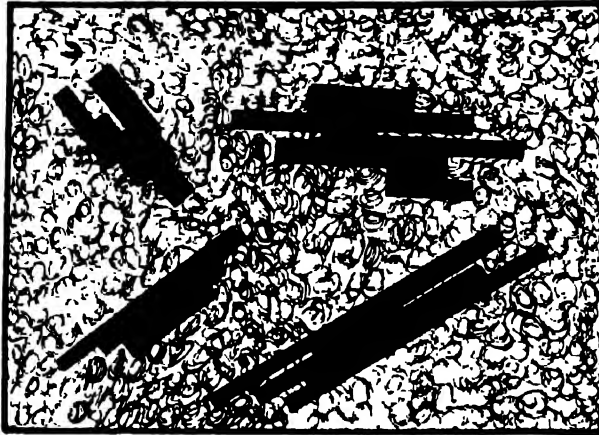
Fig. 10.

more pronounced than in the case of the usual type of thin sections of considerable age.

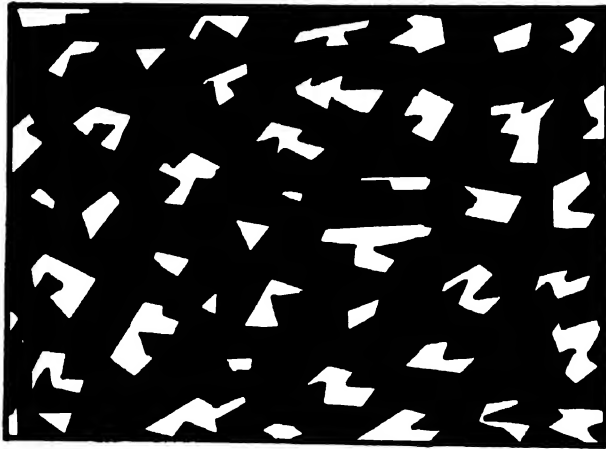
Figs. 9 and 10 show a high-strength Portland cement examined by reflected light after 24 hours and 28 days respectively. At the latter stage the calcium hydroxide crystals have grown extensively, so that they run into one another and occupy over 60 per cent. of the field. By contrast the silica gel areas have greatly diminished and hardly occupy 40 per cent. of the field. The pressure set up by the growth of the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals causes the dehydration and spatial compression of the silica gel, resulting in considerable increase in the strength of the cement. It is characteristic that the small light areas of silica gel are bounded by straight lines. We have, therefore, a colloidal gel formed as a result of crystallisation.

The examination by the above method of the newly-exposed surfaces of broken test-pieces shows that this crystal formation is not merely a surface phenomenon, but occurs throughout the hardened mortar. The use of this method allows valuable conclusions to be drawn as to the quality of a cement.

The above characteristics of the photo-micrographs are represented diagrammatically in Fig. 11. Fig. 11a (corresponding to Figs. 7, 8, and 9) shows the approximate shape of the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals in the initial stages of hardening, embedded in silica gel still rich in water. Fig. 11b shows a later



a.



b.

Fig. 11.

stage corresponding to Fig. 10. The $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals (dark background) have grown into one another, forming a continuous surface, and the consequent pressure set up has dehydrated and compressed the silica gel (white areas). The $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals, easily visible in large quantities at a magnification of 205, are the cause of the initial strength of cement. With the continuous dehydration of the gel phase the crystals naturally become increasingly smaller, until finally we have crypto-crystals in the micropores of the gel. The

number thus continuously increases, so that in the later stage of hardening they give rise to the semblance of a transformation from the colloidal to the crystalline state. The visible formation of large quantities of crystalline $\text{Ca}(\text{OH})_2$ clearly indicates that all the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ formed by hydrolysis separates in crystalline form. The hydrolysis of the calcium silicate of clinker must accordingly proceed to completion, and no calcium hydrosilicate is formed. This is emphasised by the fact that, using the normal amount of water, at most 30 to 40 per cent. of the cement is hydrated and participates in the hardening process.

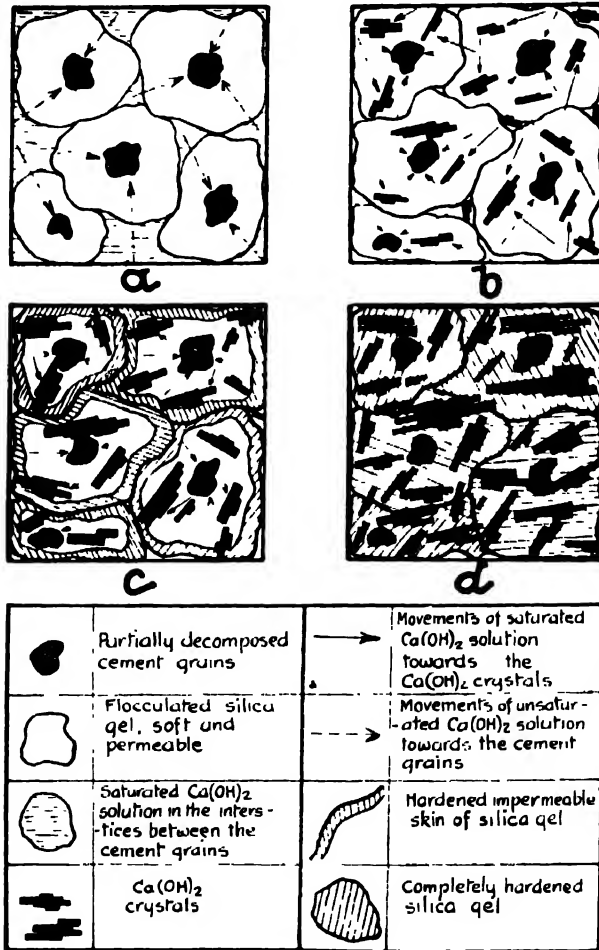


Fig. 12.

Setting and hardening are thus not independent phenomena, but complementary consecutive stages of continuous hydration.

(7) The preceding observations, which have been repeatedly confirmed, lead to a new theory of hardening, illustrated by Fig. 12. This theory involves the consideration of only the lime and the silica of Portland cement, or about 87 per cent. of its total composition.

The calcium silicates of the clinker are completely decomposed by the water to calcium hydroxide (which passes into molecular solution) and silica hydrosol, which is deposited as a flocculated gel under the influence of the strongly basic saturated $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution. The liquid held by this gel is, of course, saturated $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution.

Fig. 12a depicts the condition of a cement paste of normal consistency immediately after mixing. The cement particles have undergone surface decomposition, and the system is rich in liquid. The silica gel which has been formed around the cement particles is very voluminous and permeable to the molecular $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution. The mixing water is not as yet saturated with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, since the gypsum solution simultaneously formed dissolves much more $\text{Ca}(\text{OH})_2$ than can the water. The silica is thrown down in gelatinous form when the mixing water attains a definite concentration of $\text{Ca}(\text{OH})_2$. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution then passes through the permeable silica gel to the cement particles, forms further gel, and becomes saturated.

Fig. 12b shows the initial stages of setting. The retarding action of the gypsum solution has ceased and the mixing water has become saturated with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, and rapidly becomes supersaturated as a result of the slight increase in temperature due to the reaction. Crystal nuclei of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ now form and rapidly grow both inside and outside the gel envelopes. The moment when, in the setting-time test, the surface water is observed to disappear rapidly, corresponds to the quantitative coagulation of silica sol to gel, the porous microstructure of which gives rise to considerable capillary forces. The liquid in the pores has already disappeared, having been utilised as water of crystallisation for the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals and in the formation of silica gel.

The growth of the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals exerts a uniform pressure on the soft, semi-liquid, and permeable silica gel, with the result that the gel steadily loses liquid and becomes more tenacious. Saturated $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution passes to the growing crystals and aids their growth. The resulting diluted solution then penetrates to the partially-decomposed cement particles, forming further silica gel and again becoming saturated. Thus the entire system becomes more tenacious and viscous.

Fig. 12c depicts a set cement. The outer layers of the silica gel naturally harden first as a result of the crystal pressure and the continuous removal of water from the gel. The liquid movements become ever more sluggish, and the newly-formed crystals ever smaller and more numerous. The hardened outer layers of the gel become impermeable so that further solidification is restricted to the soft inner portions of the gel.

Fig. 12d shows the ideal completion of hardening, all action having ceased. All the water now exists in the form of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals, which have attained their maximum size and number, and which, by the pressure they exert, have completely dehydrated and hardened the silica gel, so that it will undergo no further shrinkage. The cement grains are not completely decomposed; indeed a considerable excess of unattacked cement is of importance for the attainment of good and rapid hardening. This ideal completion of hardening is never attained in practice, and can only be attained after great lapse of time under controlled conditions, since moisture is always introduced from the air or other external sources. Numerous examples of this can be seen in practice, e.g., in the effects upon strength of the various methods of storing test-pieces. The colloidal silica obtained on the hydrolysis of calcium silicates appears to be to some extent a reversible colloid.

This theory leads to the following conceptions :—

(a) The ideal cement neither expands nor shrinks; i.e., the colloidal and crystal phases are so balanced that the increase in volume due to growth of the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals is equalised by the shrinkage of the silica gel, and the total volume of the system remains unchanged. If one of the phases is in excess, volume instability results.

(b) Lime expansion cannot be attributed to the crystallisable modification of $\text{Ca}(\text{OH})_2$; the so-called "expansive" crystals of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ are the sole exception, but these can only be formed in carelessly applied and insufficiently dense mortar, under water, when they cause local expansion and rupture of the concrete. Only the free uncombined lime of the clinker can be considered

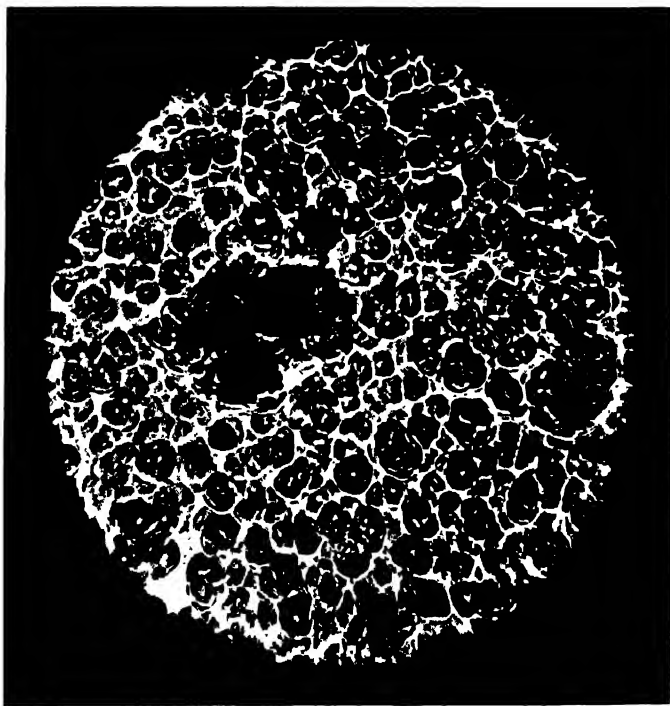


Fig. 13.

to give rise to lime expansion. Thus, on hydration, this is slowly slaked, giving rise to the amorphous hydroxide.

The above theory also receives support from the following facts. If hardened and sound cement is roughly broken up and the pieces heated to the clinkering temperature, hydration of the cooled product takes place with great evolution of heat and expansion; i.e., it has all the properties of quick-lime. If, however, the hardened cement is first finely ground and thoroughly mixed, and then heated to clinkering, the product will be perfectly sound. Thus lime expansion cannot be explained by a "directed crystallisation pressure of the calcium hydrate" as assumed by Kühl.

The mechanical strength of a cement depends in the highest degree on the amount of crystallisable calcium hydroxide present. Since calcium hydroxide produced by hydrolysis is the only form capable of crystallisation, it is impos-

sible to determine the maximum quantity of hydraulically active lime in cement until the constitution of clinker is thoroughly understood. It is extremely probable that the calcium aluminates of clinker behave on hydration with normal quantities of water exactly like the calcium silicates. In any case the plentiful formation of calcium hydroaluminate plates obtained with excess water does not occur in normal mortars.

Finally, calcium sulphoaluminate is quite unimportant as regards the hardening of mortar. It is only formed under very special, artificial conditions in the presence of excess water.

If a weak sugar solution is used as mixing water, the formation of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals cannot be detected by microscopic examination. Further, an actual transformation of the crystallisable $\text{Ca}(\text{OH})_2$ into a colloidal modification can be observed. Fig. 13 shows the gelatinisation of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ after 8 days, using a 5 per cent. sugar solution. This formation of gelatinous $\text{Ca}(\text{OH})_2$ occurs with considerable contraction, and hardening only proceeds as the gel ages.

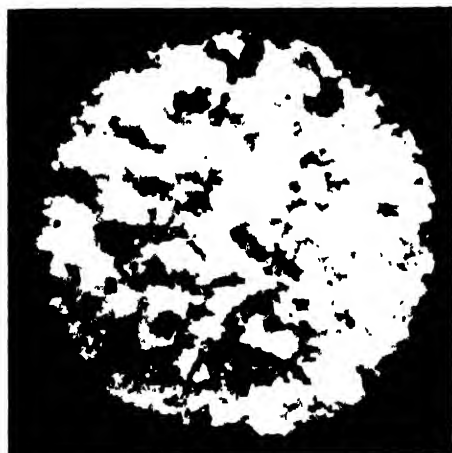


Fig. 14.

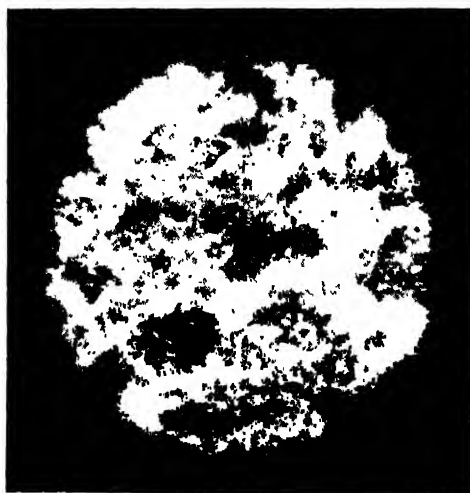


Fig. 15.

Synthetic mixtures of gelatinous silica and the finest powdered quick lime, with a little gypsum, of the approximate composition of Portland cement, harden in exactly the same way as cement. There is the same deposition of calcium hydroxide crystals—it will be remembered that the gypsum converts the amorphous $\text{Ca}(\text{OH})_2$ into the crystallisable modification—both within the silica gel and without, and the attainment of strength with freedom from contraction is attributable to this.

Since calcium oxide forms only the crystalline monohydrate under normal conditions, it may be concluded that a cement containing, in place of CaO , a different main constituent, forming higher hydrates on hydrolysis, would possess accentuated hardening properties.

(8) The following example shows the transformation of the expansive amorphous $\text{Ca}(\text{OH})_2$ into the non-expansive crystallisable modification as a result of adding calcium sulphate. A cement containing 72 per cent. CaO was burnt, and, as expected, showed pronounced expansion. This was gauged with and without 3 per cent. CaSO_4 (hemihydrate) using the normal quantity

of water, and specimens were prepared for microscopic examination by the author's method. Without gypsum, expansion was so great that at 24 hours the surface was cracked and rough; the cover-slip was convex, and in a further 24 hours had fractured and the cement had fallen to powder. It may be suggested that measurement of the cover-slip of such specimens by means of a spherometer might be developed as a delicate test for unsoundness of cement. The specimen containing gypsum remained unchanged, with smooth surface, free from cracks. Even after two years this specimen remains unaltered, and the surface of the cover-slip is quite plane. Photomicrographs of the surfaces of these specimens are shown in Figs. 14 and 15, in which the difference is very obvious. The gypsum has definitely transformed the amorphous-colloidal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ into the crystallisable variety, and it is thus proved that the presence of crystalline $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in dense mortars cannot be the cause of lime expansion.

Kühl's gel theory cannot be explained by internal absorption alone, since on this explanation there must be a considerable shrinkage of the mortar. This shrinkage is, however, opposed by the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals. Only an ideal mutual action of the colloid and the crystalline $\text{Ca}(\text{OH})_2$ gives a sound Portland cement, free from contraction, with good hydraulic and mechanical properties. The contraction in volume due to dehydration of the colloid must be balanced by a corresponding increase due to growth of the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals.

The views of P. H. Bates* of the U.S. Bureau of Standards are quite unacceptable. Thus, he says: "Although little can be established regarding the character of the hydrated low-lime silicate of Portland cement, it can be shown that it is the ideal inorganic cementitious substance, particularly in the absence of crystalline or amorphous hydrated lime." The same applies to the views of A. Hauenschild, who wrote to me in September, 1926, "Your work on the conditions of crystallisation of calcium hydroxide is extremely interesting. According to my view, however, the setting and hardening of cements depend not at all on crystallisation phenomena but on purely colloidal action. Crystal formation is merely a subsidiary phenomenon which cannot be detected in dense mortars." When these investigators repeat the author's experiments and test his methods, they will nolens volens adopt a crystalloid theory of hardening.

Summary.

(1) The hydrolysis of the calcium silicates in the presence of water is complete, i.e., the final products are silica gel and calcium hydroxide. This result is unaffected by the proportions of water used in mixing the cement.

(2) In cement mortars containing the normal quantity of water the properties of the hydration products are entirely different from those obtained with great excess of water; as a result of the high viscosity of the former system, the products take somatoid form.

(3) The needle crystals formed in specimens gauged with excess of water consist of calcium hydroxide; they are not formed in mortars of normal consistency.

(4) Calcium hydrosilicates are not found in hardened cement, in either crystalloid or colloidal form.

(5) The whole of the hydrolytically formed calcium hydroxide in cement mortars exists in the crystalline modification. These crystals are not the hexagonal plates and rods obtained with excess of water, but consist of irregular lamellæ of shapes best adapted for filling the available space.

* "Zement," Vol. 16, p. 757, 1927.

(6) Crystalline or crystallisable calcium hydroxide cannot be considered to be the cause of lime expansion. Hydrolytically formed $\text{Ca}(\text{OH})_2$ always possesses the power to crystallise, without a promoting agent. Amorphous $\text{Ca}(\text{OH})_2$ can only crystallise in the presence of a promoting agent. It is the cause of lime expansion, and is formed only in the later stages of hardening of cements containing free lime, when the promoter of crystallisation (gypsum) has no further effect.

(7) The hardening of Portland cement depends upon the ideal co-operation of colloidal silica and crystalline $\text{Ca}(\text{OH})_2$, the latter being the most plentiful and most important ingredient of hardened Portland cement. The $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is the basis of the cementitious property of cement and is thus the cause of hardening.

(8) A microscopic process is described which enables the phenomena of the hardening of normal mortars to be followed.

(9) Gypsum expansion is due to over-abundant crystallisation of $\text{Ca}(\text{OH})_2$, as a result of which the available quantity of silica gel is inadequate. On the other hand, it is possible to convert a cement subject to lime expansion into a sound cement by the addition of gypsum, which acts by transforming the amorphous $\text{Ca}(\text{OH})_2$ into the crystalline modification. In practice this is only possible to a limited extent, for an excess of crystalline $\text{Ca}(\text{OH})_2$ may result.

Notes from Abroad.

Proposed Cement Agreement.

Negotiations are being made to effect an agreement between Chinese and Japanese cement producers and thus abolish the present competition. In order to protect home industry the Chinese Government imposed a high import duty on cement and Japanese producers have been exporting at uneconomic prices.

American Cement Company's Loss.

The Bessemer Limestone & Cement Co. declared a loss of \$127,131 for the period January-July, 1931, compared with a profit of \$111,321 for the corresponding period last year.

Proposed Cement Amalgamation.

The "Japan Chronicle" states that negotiations are proceeding between the Nippon Cement Co. and the Tosa Cement Co. with a view to amalgamation.

Polish Cement Works Destroyed.

We understand the works of the Tow A.K.C. Przemysłu Cementowego "W.I.E.K." were completely burnt out at the beginning of September and that the damage amounts to 700,000 zloty.

Cement Companies' Dividends.

The following profits and dividends have been declared for the year 1930 (the figures in brackets are the corresponding amounts for the previous year): Schimischow Portland-Cement-Kalk-und Ziegelwerke, A.G., Germany, holding company of the Schlesische Portlandindustrie A.G., 8% (12%); Soc. An. Cementi Isonzo, 18,103 lire; Fabrika Cementa Francisko-Srpske Industrie, Yugo-Slavia, 2,637,253 dinars, 7% (1,635,291 dinars, 7%). A.G. der Hydraulischen Kalk-und Portland Cementfabrik zu Perlmoos, Austria, 1,029,459 sch., 5% (3,527,861 sch., 5%); Société des Ciments du Congo, Belgian Congo, 4,389,414 fr. (1,442,634 fr.); Soc. Gen. des Ciments "Hercule," Greece, 13,400,000 dr.; Slovaksische Portlandcementfabriken Nutavska-Lucka-Ladce A.G., Czecho-Slovakia, 13,260,000 kc. (14,836,000 kc.).

A Comparative Study of the Portland Cement Industry in the United States of America, Canada, and the United Kingdom.—VIII.

By HAL GUTTERIDGE, A.M.I.Mech.E., M.I.E.I.

Dust Collection.

THE main points in a cement works where dust collecting installations can generally be employed with advantage are the crushing, drying, raw material grinding, coal grinding, clinker grinding, and cement packing departments. With flue dust collection, separate conditions arise which will be considered



Fig. 1.

later. Methods of collecting dust may be placed under the following heads: centrifugal, filter, gravity, electrical, and internal vortex.

Centrifugal Separators.

Among the various types of centrifugal collectors generally in use is the cyclone collector, in which separation is effected by projecting the dust particles tangentially out of the gas stream by centrifugal force. As the efficiency of the cyclone separator varies as the square of the tangential velocity and inversely as the radius, it follows that the greater the velocity of the entering gas the greater will be the efficiency for a definite radius, or the greater the radius the lower the efficiency for a definite entering gas velocity.

Practical considerations limit the velocity of the entering gases because of the power required to produce this condition, and, on the other hand, the size of the separator must be such as adequately to handle the volume of gases offered to the separator. A mean is arrived at which will best suit any particular proposition.

Filter Separators.

When dust-bearing gases are passed directly through a filtering medium the separator is called a filter type collector. The filtering medium is usually cloth, and is applicable to gases with very low moisture content and low temperature. To prevent an excessive pressure drop through the system, means have to be provided regularly to clear the filtering medium either by reversing the direction of flow or by shaking the cloth.

Gravity Separators.

These separators usually take the form of dust or settling chambers. They require a considerable amount of floor area, a large capacity per unit volume of gas handled, and operate at low efficiencies. To obtain a fairly efficient

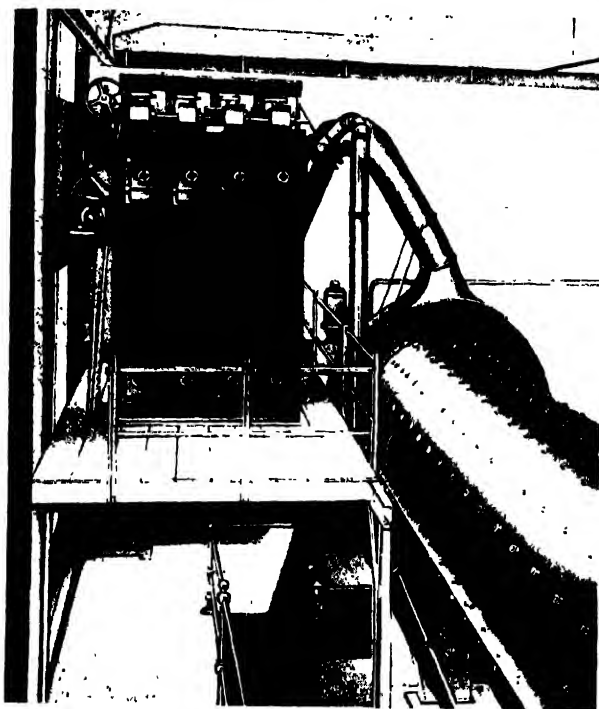


Fig. 2.

collection the velocity of the gases has to be reduced to about 100 ft. per minute, and, with a large volume of gas, to obtain this low speed the cross-sectional area must be very large for the velocity of the gases has to be reduced from about 1,000 ft. per minute in the case of flue gases.

Electrical Precipitators and Internal Vortex Separators.

Details of these separators are given later under "Flue Dust Collection." In addition to the separation of the dust from the flue gases, these separators are used on rock-drier dust collecting.

There is a wide range of different equipment, but before a selection can be made each case must be subjected to a proper investigation and the data thus obtained thoroughly studied. There are certain fundamental conditions which determine the type and size of the equipment most suitable to any case. The most important are: (1) Dust characteristics, that is, its shape, fineness, and

density; (2) volume and the temperature of the gases; (3) dust-loading of the gases; (4) relative humidity of the gases; and (5) chemical analysis of the gases.

To take an example, say, of rotary driers on raw material duty, in one case the rock may have a low moisture content and in another a high moisture content. Rock dried in one may be of a fine crystalline structure and in another of a flat scaly structure. A drier may be used in one case where most of the heat is utilised, with the result that the temperature of the exit gases is low, but with the other the temperature of the escaping gases may be high. The dust-loading of the gas in one may be low on account of the structure of the rock, but in the other it may be high. Therefore, what is successful in one case may prove inadequate in another.

At a works in Pennsylvania an installation of six "Vorticose" dust collectors (by Dust Recovery Inc.) are operating on rock driers. Each collector handles approximately 12,000 cu. ft. of gas per minute and traps 1,000 lbs. of dust per hour. The average operating efficiency is given as 94 per cent., while the screen analysis of the dust is 1 per cent. on 100 mesh, 1.5 per cent. through 100 but on 200 mesh, 3.5 per cent. through 200 but on 300 mesh, and 94.0 per cent. through 300 mesh.

At a works in Kansas, where rock is dried by waste-heat boiler gases, the dust is extracted from 20,000 cu. ft. of gas per minute, at two points in series. The gases from the drier are drawn through an air separator which removes the coarse dust by a fan which passes the gases into a dust-collector to remove the fine dust. By double handling of the gases a very high degree of recovery is realised. This installation is by the Clark Dust Collecting Company; a photograph of another installation by this company showing two collectors each of which can handle 60 to 70,000 cu. ft. of dust laden gas per minute is illustrated in Fig. 1.

In the United Kingdom there are no dry process cement plants and therefore no rock driers with their ancillary dust collecting equipment are necessary, and, as these articles are confined by the title to the plant actually used in the three countries, plant made by manufacturers in the U.K. for abroad has been excluded.

Fig. 2 shows the Visco Engineering Company's system applied to the collection of cement dust from clinker grinding mills. The collector is of the suction type; the main fan deals with cleaned air only, and the collector consists of sheet-metal casing divided into compartments each of which contains filter tubes made of special material for the recovery of the impalpable dust. At predetermined intervals, and in rotation, each compartment is isolated from its neighbours by the mechanical closing of the compartment's main damper, after which the tubes in the compartment closed down are mechanically shaken. Clean air from a separate fan is forced through the pores of the filtering medium in a contrary direction to that of the air flow under normal working conditions. The dust recovered falls into a hopper from whence it is extracted by a screw.

A dust collecting installation in the United Kingdom by the Sturtevant Engineering Company (shown in Fig. 3) deals with about 6,000 cu. metres of air per hour from clinker grinding mills. The dust in the air averages about 10 grammes per cu. metre and is first drawn through a cyclone and from there to an automatic filter, both units being under suction. Automatically, at frequent intervals and in rotation, each section is cut out by closing the outlet valve of the section, and simultaneously this section is opened to the atmosphere causing a reverse current of air through the bags whilst they are automatically shaken.

The amount of dust produced depends on the raw materials and the process used. Some rocks during blasting and crushing as, for instance, "cement rock," usually produce an appreciable amount of dust due to those operations. On the other hand, from chalk or marl there is practically no dust on the preparation side.

At a works using cement rock in Pennsylvania the method adopted for reducing losses of material in the form of dust in the quarry during the summer months is by the use of a hose pipe to damp the material. It is estimated



Fig. 3.

that at least 2 per cent. of the material is thereby saved, and by using the material in this damped condition the hammer mills produced less dust. An example can be given of an otherwise modern and economically operated mill where there was so much dust in the crushing mill house that it was impossible to see across the building, a distance not greater than 30 ft. So great was the loading of the dust that it caused coughing merely by walking through the building; the conditions were bad and consequently uneconomical.

A typically efficient dust-collecting system in the crushing mill house is a central dust extracting equipment with leads from each dust-producing point.

The dust is drawn away at the discharge from the gyratory crusher, again at the raw material separator, and also at the delivery from the secondary mill. With certain materials with heavy yields of dust, extraction points are also arranged at the elevators. In some cases the dust is discharged at intervals on to the conveyor taking the crushed limestone to the storage, or sent direct to the grinding mills. The former is usual with the wet process and the latter if the process is dry, for by this short circuit the cost of re-collecting portions of dust from the driers, and the heat that would be unnecessarily expended upon it, is avoided.

Another system of dust collecting employed in connection with clinker grinding in Ohio, and which is also installed in a works in New York State, is the "Sly" system. This system, besides keeping the clinker grinding house free from dust, also cools the cement from about 300 deg. F., at which temperature



Fig. 4.

it is discharged from the mill, to 200 deg. F. The cement from the mills falls down a square vertical chute on the sides of which are louvres for the intrusion of air. A fan is connected with the system and so arranged that it draws cool air through the louvres which air passes counter-flow through all the cement, and that portion of the cement which it picks up is deposited in a dust collector from whence it is passed to join the main stream of cement with which it is thoroughly mixed in screw conveyors.

One method of cooling cement used in a United Kingdom works, where the cement in bulk is transported about 400 yds. on a band conveyor, is to use a series of small stationary vanes arranged at frequent intervals along the length of the conveyor which continually turn the cement over and expose the hotter portion to the atmosphere.

Examples of grinding mill installations in the U.S.A. and the United Kingdom are shown in Figs. 4 and 5. Fig. 4 shows four combination mills and their electrical drives by Allis-Chalmers in Alabama, U.S.A. Each of the

8 ft. by 7 ft. by 40 ft. mills is driven by a 800 h.p. synchronous motor through a magnetic clutch and peripheral spur gear. Fig. 5 illustrates the driving arrangements of four combination mills, 7 ft. $2\frac{1}{2}$ ins. diameter by 36 ft. long, in the United Kingdom. In this case the four Crompton-Parkinson motors are driving through wholly-enclosed reduction gears directly along the axis of the mill through the trunnion. These photographs are in many ways typical of the difference in practice in the U.S.A. and the United Kingdom. It is usual to see in the U.S.A. the electrical driving gear in the same room as the grinding unit, whereas in the United Kingdom the electrical equipment is generally separated from the mills by a dust-proof wall. There is much to be gained from the latter arrangement, for the electrical equipment can be operated under ideal conditions where there is not only an absence of mill dust but the equipment can be run under the best constant-temperature condition.

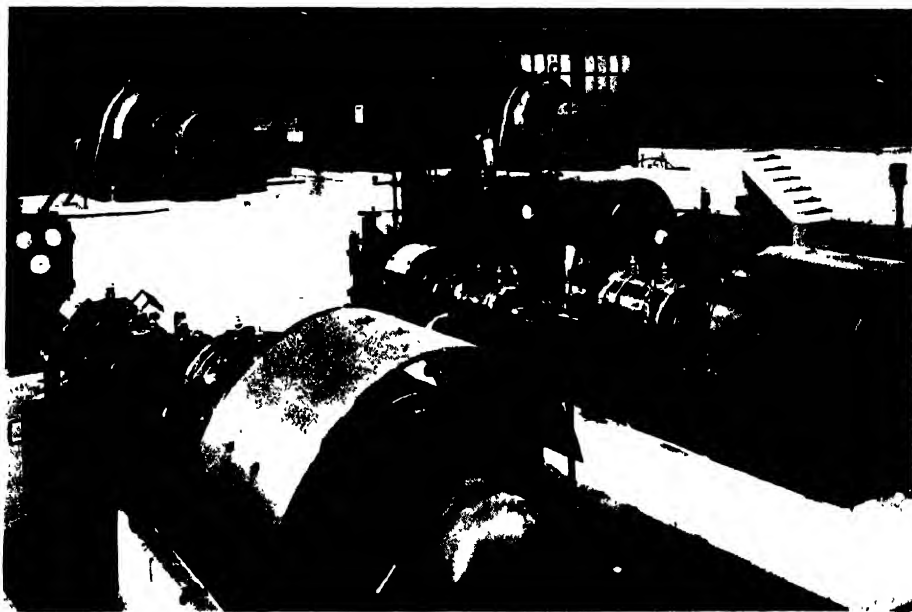


Fig. 5.

It is usual to have this room hermetically sealed and to provide air-reconditioning apparatus.

Another difference between the practices of the two countries is the use of the magnetic clutch for grinding-mill drives in cement plants in the U.S.A. The magnetic clutch (referred to in a previous article on "Grinding") provides added control over the operation of the mill in the gradual engagement and the instantaneous disengagement between the driving and driven units. Magnetic clutches are used in the United Kingdom in other industries, particularly the rubber industry, where instantaneous stopping of the rolls is important. This is arranged by push-button control and automatic braking and, by having a magnetic clutch, a trip gear can be employed to break the clutch circuit and apply the brake. In this way the brake does not have to absorb the momentum of the motor armature. A further difference is typified in these two photographs in the choice of central trunnion drive or peripheral drive (mentioned in the article on "Grinding" where the advantages of

the trunnion drive, favoured in the United Kingdom, over the peripheral drive, so extensively used in the U.S.A., are discussed).

Flue Dust Collection.

The value of collected dust where it is necessary to instal flue-dust collection plant is an item which will appear on the credit side of the collector account. In the U.S.A. there are about twenty-two electrical and mechanical precipitation plants on flue-gas dust collection duty. In Canada, one large cement works is installing mechanical flue-dust collecting plant, and it is interesting to note that this works, which is in the centre of a residential neighbourhood, is also changing over from the dry process to the wet process, in order further to reduce dust.

In the United Kingdom, on account mainly of the fact that all plants are wet process plants and that the average length of the kilns is longer than in the U.S.A., there are no electrical or mechanical flue-dust separators.

The Lodge-Cottrell electrical precipitator, of which there are 18 in the U.S.A. on flue-dust collection, consists of a number of opposed electrode units, one group (the discharge electrodes) being shaped to facilitate corona discharge, and the other group (the collecting electrodes) being formed to minimise or prevent discharge therefrom. The discharge electrode system is mounted upon insulators and is usually charged negatively with respect to ground and the collecting electrode system is electrically grounded. The potential difference maintained between electrodes depends upon the electrode spacing and other circumstances, but in cement plant application is usually 50,000 volts. Unidirectional current is supplied by rectifying high tension alternating current. As dust-laden gases pass between the electrodes the particles acquire a charge and are forced out of the gases to the electrodes, where they are allowed to collect and are then shaken off by mechanical rappings into the hoppers placed beneath the electrode system for gathering the dust for return to the kiln. The rapping of the electrodes is generally done once per shift. For collecting dust from rotary kilns it has been found that instead of the collecting electrodes being made of metal it is often preferable to make them of specially-prepared Portland cement concrete with small-diameter electrically-grounded metal rods embedded therein, so disposed with respect to the discharge electrodes as to achieve the maximum amount of resistance in series with the minimum air gap, and the minimum amount of resistance in series with the maximum air gap. The size of these plate electrodes is 6 ft. 6 ins. wide by 12 ft. 4 ins. high by 2 in. thick. The virtue of this electrode, called a "graded resistance" electrode, lies in its internal resistance, which prevents localisation of corona discharge. The normal discharge is spread out and extended through a larger portion of the electric field thereby giving a greater gas-treating capacity per unit volume of precipitator structure and reducing the size of precipitator unit for the treatment of a specific quantity. It allows the dust to build up on the electrode to a greater extent without loss of efficiency and thereby reduces labour costs; the prevention of localisation of discharge reduces power costs. It is claimed that with these "graded resistance" electrodes for the treatment of 100,000 cu. ft. of gas per minute with a minimum of 90 per cent. efficiency, the space required is 35,000 cu. ft., the operating power 10 kilowatts, and the labour 12 man-hours per day.

The quantity of dust passed out of the kiln is to a great measure dependent upon the length of the kiln; the longer the kiln the less the dust, and vice versa. A cement works in Pennsylvania, employing 8 waste-heat boilers, with a capacity of 7,800 barrels per day, has nine kilns each 135 ft. long operated

on the dry process; the short kilns and the dry process make for the maximum of dust in the flue gases, and to collect this a Cottrell precipitator is installed. The capacity of the installation on flue-gas dust collection is 400,000 cu. ft. per minute, made up in six units. The collecting electrodes are of slab concrete construction, and the electric current, supplied at 440 volts, is stepped up to 50,000 volts. These precipitators are used following the waste-heat boilers and receive the gas at 100 deg. F. At this works there is also a Cottrell plant installation which cleans that portion of the kiln-flue gases used in drying the raw materials together with the raw material dust. In this latter installation, which has a capacity of 70,000 cu. ft. of gas per minute, there are three units.

Fig. 6 illustrates the operating floor of a Cottrell installation in an Ohio

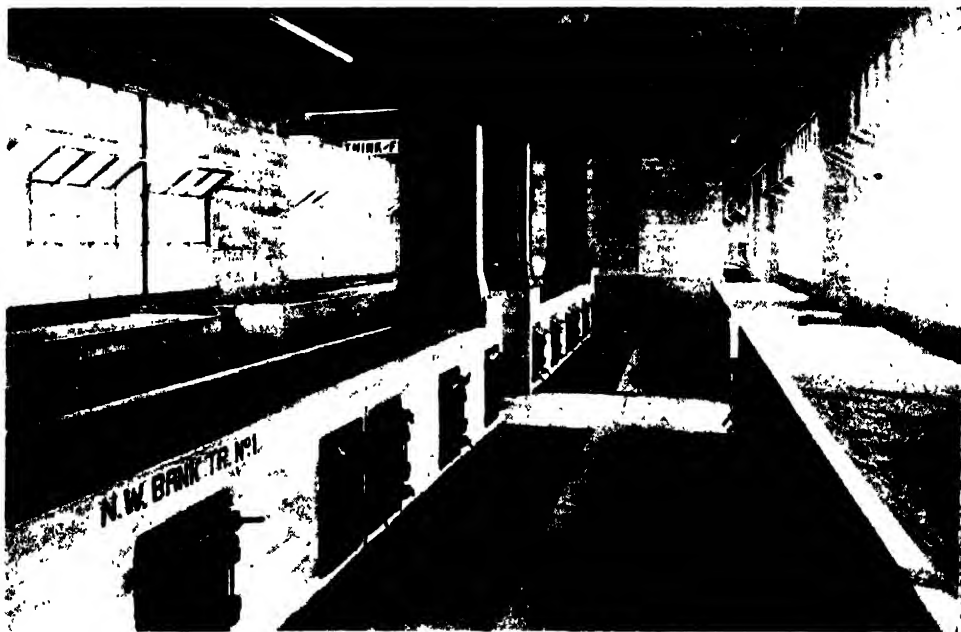


Fig. 6.

wet process cement works with four waste-heat boilers, which consists of four units of precipitators, each unit being two sections wide and each section two banks long. The banks consist of graded resistance electrodes 12 ft. 6 in. high and 6 ft. 6 in. long, the plates being placed 6 in. face to face with vertical discharge electrodes midway between. There are 13 electrode ducts in each treater section. Each double unit has one electrical set to energise it, and a fifth electrical set serves as a spare. This plant has a gas-treating capacity of 360,000 cu. ft. per minute at a temperature of 400 deg. F., and collects approximately 90 tons of dust per day with an efficiency of over 95 per cent. The power required is approximately 20 kW., and the labour one man per shift.

A mechanical dust collector now being installed at a Canadian works is known as the "Vorticoise," built by Dust Recovery Inc., a photograph of which at a later stage of erection is given in Fig. 7. This installation consists of two collectors on seven kilns; it is designed to handle a total gas volume of 290,000 cu. ft. per minute, and will operate under natural draught conditions.

The system is described as a collector based on the principle of the "internal vortex," similar to the condition occurring in whirlwinds, in which all dust particles are projected into a central vortical column and only dispersed when the vortical action is broken. The collector embodies a number of standard 20 in. by 12 in. fixed collecting elements, in the form of an inverted "V," which trap the dust in the incoming gases. Along the sides of the V are openings which, with baffles suitably arranged, allow the major portion of the gases immediately to pass through but with a sudden change of direction. The remaining portion of the gases, together with the dust particles which, because of their inertia, do not change their direction so readily, are carried onwards at a steadily decreasing rate until they arrive at the apex of

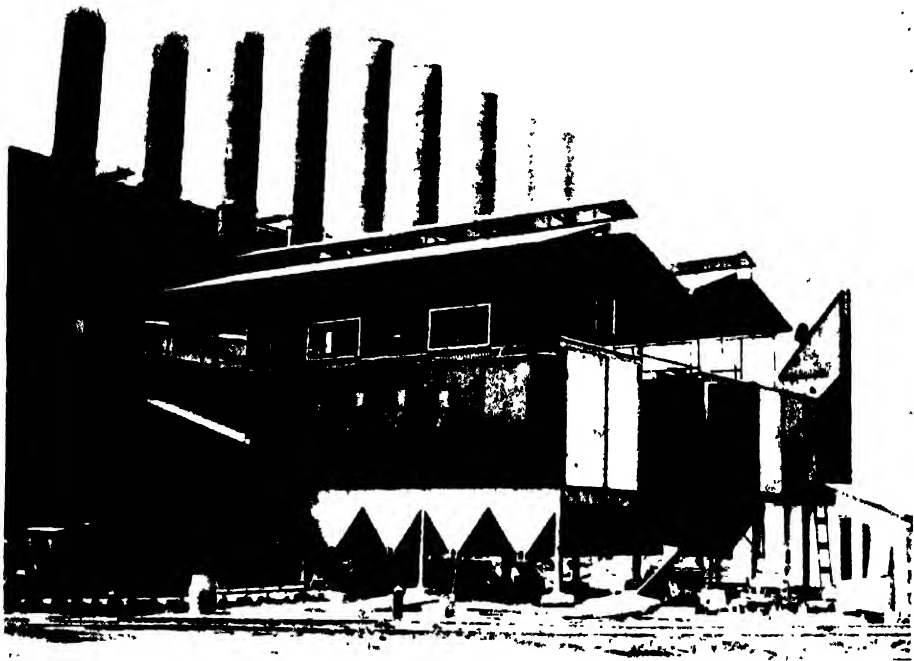


Fig. 7.

the V, where a comparative still air condition obtains and the dust is precipitated. This dust falls downwards to the hoppers. Rapping gear is arranged to accelerate the discharge of the dust from the various surfaces. The gases pass from the first elements to a number of similar collecting elements in series, the number of which depends upon the condition of the particular gas. There are no moving parts except the rapping gear, which is outside the collector.

In an Alabama works with two combined kilns and coolers 11 ft. 3 in. and 10 ft. by 343 ft. long, the "Unax" coolers are of the double cylinder type where the kiln is surrounded by a double row of tubes and the clinker, after passing through the inner tube, returns along the length of the outer tube. Here the flue gases are first cast down a sheet-steel chamber for collecting the dust and then cast up to a flue that goes to the stack. The dust is extracted by screws from the hoppers underneath and passed to the feed, which it meets as it enters the kiln. Besides the double-row integral cooler, a feature has been installed

to control the temperature of the flue gases going through the induced draught fans. The fans are not designed to withstand a higher temperature than 700 deg. F., and, so that a temperature in excess of that will not be presented to them, a fresh-air damper was installed. This entirely automatic equipment, designed by F. L. Smidth & Co., consists of thermometers actuating electric contacts when the temperature of the gases has reached certain upper and lower limits. The contacts in turn energise relays acting on a solenoid-controlled three-way valve admitting water to the upper or lower part of a hydraulic piston which moves the damper. Lights on the control board on the burner's platform indicate the proper functioning of this device.

An example of another type of dust-collecting equipment applied to kiln-flue gases is to be seen at a cement works in Pennsylvania, where plant designed in the United Kingdom is being used. This dust collecting equipment is patented by Messrs. Davidson & Co., Ltd., of Belfast, and was installed by the American Blower Co. Its operation consists of the production of a true cyclonic action which forces the dust removed from the gases to the bottom of the cyclone, from whence it is extracted and sent to join the slurry. The kiln is 11 ft. 6 in. with 15 ft. enlarged zone by 257 ft. long; the 15 ft. section is 42 ft. long and begins 37 ft. from the firing end. The enlarged section is the calcining zone, and is intended to produce more perfect calcination and to give more uniform production than is possible with standard-sized kilns. There is no waste-heat boiler on this kiln and the dust collector is directly connected to the kiln exhaust fan which has a capacity of 135,000 cu. ft. per minute at 700 deg. F.

(To be continued.)

**Visco-Beth Dust Collector
installed in London Works.**



“VISCO”

DUST COLLECTORS

are

Increasing Works Capacity.

Preventing Waste.

Reducing wear and tear of machinery.

Increasing workers' efficiency and cutting down Factory cleaning costs, etc., etc.

WRITE FOR DETAILS—

“VISCO”

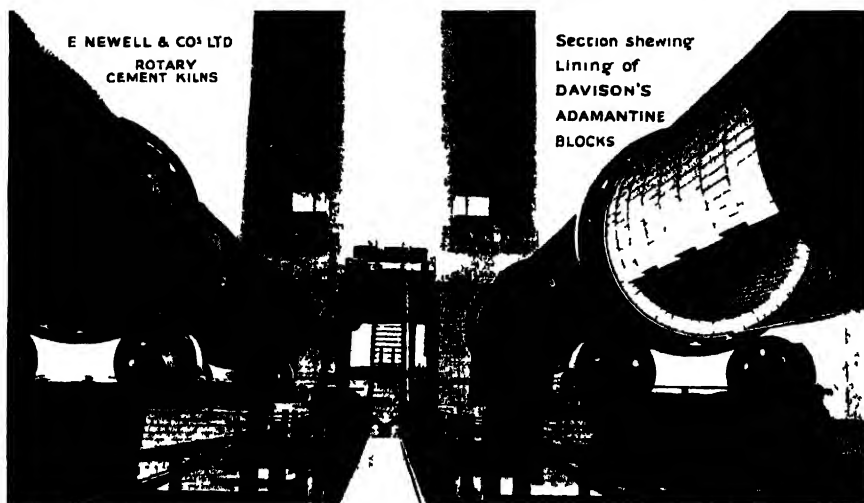
ENGINEERING CO. LTD.
162 GROSVENOR ROAD, LONDON, S.W.1

Telephone:
Victoria
6531/2.

Telegrams:
Curtmit, Churton,
London.

AN ENGLISH 60% ALUMINA CEMENT KILN LINING BLOCK BRAND "ALUMANTINE"

Tested to fuse at 2,200 deg. Centigrade.



Messrs. Charles Davison & Co., Ltd., Buckley, Chester. have now put on the market a 60% Alumina Block for lining the **BURNING ZONE** of Rotary Cement Kilns. Deliveries in one month from order. Owing to the departure from the gold standard the price of the French and German blocks is increased—the price of the English blocks is reduced.

It is the duty and privilege of Cement Manufacturers to

BUY BRITISH.



THE SIROCCO FAN

PIONEER OF MODERN MULTIBLADED FANS

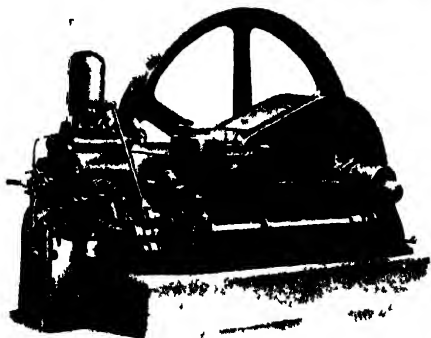
Available in a large variety of sizes and types
For every purpose involving the movement of air or gases.

DAVIDSON & CO., LIMITED.
SIROCCO ENGINEERING WORKS, BELFAST.

LONDON, CARDIFF, BRISTOL, GLASGOW,
MANCHESTER, BIRMINGHAM, NEWCASTLE




For Cheapest Power specify **RUSTON** Engines!



The Ruston-Hornsby Class "H.R." Cold Starting Oil Engine runs on cheap low-grade fuel oils. It is a reliable "long-life" power unit for high performance at low cost, and is unsurpassed for driving machinery.

Made in sizes —

Single Cylinder	10 to 66 B H P.
Double Cylinder	76 to 150 B H P.
Four Cylinder	152 to 264 B H P.

Send for FREE catalogue.

Ruston & Hornsby Ltd.
Lincoln.

Air Filters.

THE "Intensiv" air filter shown in Fig. 1 working in conjunction with five tube-mills in Germany makes use of induced air draught created by the filter fan, which eliminates the necessity for water cooling. It is claimed that this increases the capacity of the mill by as much as 10 per cent., as the very fine material is caught in the air current and carried to the filter, leaving the larger particles to be ground. This recovered dust is continuously and automatically fed into the delivery screw of the tube mills and re-mixed into the bulk.

Fig. 2 is another filter of the same make on the Continent working on dust from a cement grinding mill in a factory where iron Portland cement is

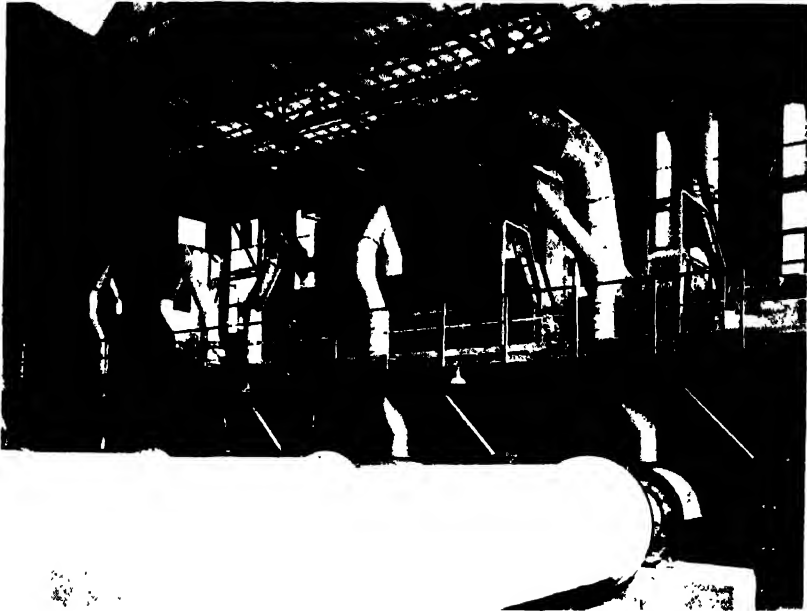


Fig. 1.

made. At this particular works, all dust-producing machines, including the kiln, are coupled up to one of these filters. After the kiln filter had been at work for twelve months, sometimes being allowed to run continuously for weeks on end, we are informed that none of the filter hoses (which are made of fine quality Scotch wool) showed any sign of wear or damage. The gases leaving the kiln have a temperature of 350 deg. C., and contain sulphur and ash from the coal, cement dust, moisture, etc., which would damage the filter hoses were they not always under perfect control.

This plant is known as the suction type. The fan, which is placed between the chimney stack and the filter, first sucks the hot kiln gases through two large-diameter Ljungstrom coolers. The coolers slowly rotate in the horizontal plane, pick up 200 to 230 deg. C., and the gases arrive at and pass through the filter at a temperature of 100 to 120 deg. C., and are then exhausted through the chimney to atmosphere. Thus the gases are always under control and are automatically guided through the hoses contained in the various com-

partments of the filter. The dust contained in the gases is trapped inside the hoses and then automatically discharged from the filter and delivered to any desired point by means of a screw conveyor. Smaller fans installed close to the coolers blow atmospheric air at 15 deg. C. through them, taking with it about 200 deg. C. of the temperature therein contained, which is conducted



Fig. 2.

through piping to drying drums where it serves the purpose of drying the whole of the cement raw materials before their introduction into the rotary kiln. Thus economy in fuel is effected as well as the elimination of dust.

These filters are made by the Intensiv Filter Co., of Langenberg (Rhld.).



C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

LE JOURNAL INTERNATIONAL DU CIMENT EN QUATRE LANGUES.

PARTIE FRANÇAISE

Les progrès relatifs au Ciment, pendant l'année 1930.—I.

Par OTTO FR. HONUS.

Chimie Analytique.

J. B. OLIVA¹ a développé les méthodes suivantes pour le dosage rapide de l'oxyde de fer dans le ciment. Le dosage se fait au moyen de $TiCl_3$, conservé dans l'hydrogène, et en utilisant des burettes automatiques. Dissoudre 0,5 gr. de ciment dans 20 à 30 cm³ d'eau et 10 cm³ de HCl conc., chauffer la liqueur, diluer avec 70 cm³ d'eau, ajouter MnO^4K jusqu'à coloration rouge persistante, ensuite 5 à 6 cm³ CNSK, et doser au moyen de $TiCl_3$, en opérant rapidement sans agiter le vase, jusqu'à disparition de la coloration rouge. Pour titrer la liqueur de $TiCl_3$, on se sert d'une solution de bleu de méthylène et d'une solution de sulfate double d'ammonium et de fer. Pour la détermination indirecte de la chaux dans le ciment, à l'aide de l'oxalate de sodium de Sørensen, A. Heiser² indique la méthode suivante: Partant de 1.000 gr. de la substance à analyser, la liqueur dont on a séparé les sesquioxides par filtrage est acidulée par HCl; porter à l'ébullition en ajoutant 1,9832 gr. de $C^2O^4Na^2$, correspondant à 0,8300 gr. de CaO . Quand ce sel s'est dissous en partie et que la réaction a eu lieu, porter à l'ébullition, tout en ajoutant HCl jusqu'à dissolution complète. Ajouter goutte à goutte NH^3 pour précipiter C^2O^4Ca ; une fois rassemblé, filtrer le précipité, le lessiver à chaud, en décomposer une fraction avec SO^4H^2 et SO^4Mn , et doser à 70° avec MnO^4K au 1/10. H. Th. Bucherer et F. W. Meier³ ont fait des recherches sur l'application de la méthode par filtrage à l'analyse industrielle du ciment Portland. Ils proposent de traiter les silicates riches en chaux, et en particulier le ciment Portland, avec NO^3H , parce que $(NO^3)^2Ca$ est soluble dans l'alcool, ce qui facilite beaucoup la séparation de SiO^2 . Ces savants indiquent une nouvelle marche à suivre, applicable au ciment Portland.

¹ "Chim. et Industrie," Vol. 23, No. esp. 3, p. 378, 1930.

² "Zement," Vol. 19, p. 1, 154, 1930.

³ "Z.f. Analyt. Chem.," Vol. 82, p. 1, 1930.

R. H. Bogue⁴ déduit de l'analyse une nouvelle méthode de calcul et élabore trois nomogrammes, permettant d'obtenir les teneurs en Al^2O^3 , Fe^2O^3 , 4CaO , SiO^2 , 3CaO , SiO^2 , 2CaO , et Al^2O^3 , 3CaO , ainsi que celles en chaux libre, en magnésie libre et en gypse. La méthode améliorée pour la détermination de la chaux libre dans le ciment Portland, due à W. M. Derch et R. H. Bogue⁵ est basée sur l'égalité :



Préparer une liqueur composée de 1 partie en volume de glycérine et de 5 parties en volume d'alcool absolu, contenant par litre 2 cm³ d'une liqueur à 1,60 de phénolphthaléine ; en ramène cette liqueur au point neutre précis par l'addition d'une liqueur alcoolique diluée de NaOH, ou d'une liqueur alcoolique acétate d'ammonium. Pour la préparation de la liqueur normale, dissoudre 16 gr. d'acétate d'ammonium cristallisé dans un litre d'alcool absolu, et titrer au moyen d'une solution de CaO. Chauffer l'oxalate de Ca à 900-1.000° jusqu'à poids constant, en prendre 0,1 gr. et agiter avec 60 cm³ de solution alcoolique de glycérine dans un vase de Erlenmeyer de 200 cm³, porter pendant 20 minutes à l'ébullition, doser et recommencer jusqu'à ce qu'il ne se produise plus de coloration rouge. On traite de même 1 gr. de ciment en poudre dans le vase d'Erlenmeyer de 200 cm³ avec 60 cm³ de glycérine mélangée d'alcool, et on détermine la teneur en CaO par le calcul. Il est indispensable d'employer de l'alcool absolument privé d'eau, et d'employer du ciment dans le plus grand état de finesse. G. E. Bessy⁶ modifie la méthode à la glycérine pour la détermination de la chaux libre, et propose d'extraire la chaux libre au moyen de glycérine seule, et de doser avec une liqueur alcoolique d'acide benzoïque.

En dosant la poudre de ciment au moyen d'acide acétique à 1% en présence de CO² en employant l'acide H (acide aminonaphtoldisulfonique 1,8 3,6) conjugué à la nitraniline—P. diazotée comme indicateur, H. Th. Bucherer et F. W. Meier⁷ ont observé des modifications brusques et des temps d'arrêt, qui s'expliquent par les réactions successives dont les diverses substances constituant le ciment sont le siège.

P. Erculisse⁸ fait l'examen critique des méthodes analytiques et de l'épreuve des ciments, et propose des formules moléculaires simples, exprimant leurs teneurs en substances dont l'existence est réelle. Il convient de gâcher le ciment avec une quantité d'eau, déterminée avec précision.

Chaux, silice, alumine, argile, silicates de chaux, aluminates et ferrite.

(1) **Oxyde de calcium hydraté.** Selon Huttig et Arbus⁹ les courbes de déshydratation obtenues à pression constante, démontrent nettement l'existence de l'hydrate à une molécule $\text{CaO} \cdot \text{H}^2\text{O}$. Pour les préparations obtenues par divers moyens, les températures de décomposition varient entre 385 et 398° pour $\text{H}^2\text{O} = 10$ mm ; ces chiffres concordent bien avec ceux que donne le calcul en thermodynamique.

En prenant trois préparations différentes de $\text{Ca}(\text{OH})^2$ Th. Thorvaldson et V. G. Brown¹⁰ ont obtenu pour la chaleur de dissolution dans HCl , $200\text{H}^2\text{O}$ une valeur moyenne de 550 cal par gramme de CaO, soit 30,85 Kcal/mol, alors que Thomsen indique 30,49 Kcal et Berthelot 30,96 Kcal. Avec les hydrates contenant plus d'eau que $\text{CaO} \cdot \text{H}^2\text{O}$, on n'a plus trouvé aucun indice de dégagement de chaleur à 21°.

⁴ "Ind. Eng. Chem.," Ed. analyt., Vol. I, p. 192, 1929.

⁵ *Ibid.*, Vol. 2, p. 296, 1930.

⁶ "J. Soc. Chem. Ind.," Vol. 49, p. 360, Trans., 1930.

⁷ "Zement," Vol. 19, p. 1, 134, 1930.

⁸ "Chimie et Industrie," Vol. 21, p. 475, 1930.

⁹ "Z.f. Anorg. Allg. Chem.," Vol. 191, p. 161, 1930.

¹⁰ "J. Amer. Chem. Soc.," Vol. 52, p. 80, 1930.

Silice : En décomposant lentement dans l'alcool l'éther éthylique ortho-silicié, on obtient des hydrates de silice se différenciant nettement. Cette décomposition a fait l'objet de diagrammes p-x, établis par P. A. Thiessen et O. Korner¹¹; les courbes obtenues à 11° font ressortir une série de décrochements nettement accentués. Outre les hydrates déjà identifiés de la composition $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, et $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, on constate l'existence d'un autre hydrate de la composition $2\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Le décrochement qui correspond au début de la formation de cet hydrate n'est pas très prononcé, probablement en raison de la faible stabilité de cette substance. Dans une autre expérience de désagrégation à température constante, faite à température plus élevée (32°), on a pu observer un autre décrochement, correspondant au commencement de la formation de $2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Rien ne permet par suite de dire que lors de la désagrégation des hydrates de silice riches en eau, il se produise des silices polymoléculaires à l'état solide. Comme autre résultat de recherches¹² il est donné une méthode pour mettre en évidence les divers hydrates de silice définis (basée sur le diagramme p-x).

(3) **Alumine :** E. Klever¹³ a procédé à des recherches par la colorimétrie et les rayons X sur le processus de la déshydratation des oxydes d'aluminium hydratés. Une préparation, que le cliché obtenu aux rayons X a permis d'identifier comme étant de la bayerite, a été soumise en vue de sa déshydratation à des températures croissantes jusqu'à 1,200°; on disposait ainsi d'un certain nombre de préparations qui, comme chaleur de dissolution, ont donné 18,52 jusqu'à 54° dans HF à 40%. Des courbes ainsi relevées et les clichés fournis par les rayons X en employant la méthode des poudres ont permis d'établir comme suit la marche de la déshydratation: jusqu'à 210°, le réseau reste celui de la substance d'où l'on est parti, entre 210 et 900° il se forme un nouveau réseau que l'on peut imputer à $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \gamma$; de 900 à 1200°, on observe de nouvelles lignes, d'où l'on peut déduire que le réseau γ se trouve reconstitué par cristallisation. C'est à partir de 1200° seulement que le réseau de corindon α commence à apparaître. Pour l'alumine déshydratée, on obtient par extrapolation la valeur de 92,5 Kcal/mol en partant du diagramme des chaleurs de dissolution, et on impute ce chiffre à la variété γ . Comme conclusions, on admet l'existence d'un hydrate à une molécule, dont la chaleur d'hydratation, obtenue par calcul, serait de 27,5 cal/mol. Une nouvelle détermination de la chaleur de dissolution du quartz a fourni une valeur de $34,12 \pm 0,15$ Kcal/mol pour HF à 40%. En procédant à des recherches aux rayons X sur le Kaolin déshydraté à 650°, on n'a obtenu aucun indice de la présence de Al_2O_3 libre, ce qui enlève toute vraisemblance à l'hypothèse que, dans cette région de température, le Kaolin se désagrègerait en Al_2O_3 et SiO_2 , et l'on est amené à admettre l'existence d'un Kaolin anhydre (métakaolin).

(4) **Oxyde ferrique hydraté :** On n'a pas encore élucidé pleinement le rôle de l'oxyde ferrique hydraté dans la constitution des ciments. Selon Huttig et Carside¹⁴ pour tous les hydrates de fer frais préparés par précipitation, la courbe de pression de vapeur ne présente aucun point d'inflexion, et ce, quelle que soit leur teneur en eau; les courbes de ce genre caractérisent les colloïdes et surtout les systèmes colloïdaux. Th. Thorvaldson, W. G. Brown et C. R. Peaker¹⁵ déterminent la chaleur de dissolution de l'aluminate tricalcique et de

¹¹ "Z.f. Anorg. Allg. Chem.," Vol. 189, p. 168, 1930.

¹² *Ibid.*, Vol. 189, p. 174, 1930.

¹³ "Trans. Ceram. Soc.," Vol. 29, No. 5, p. 149, 1930.

¹⁴ "Z.f. Anorg. Allg. Chem.," Vol. 185, p. 403, 1930.

¹⁵ "J. Amer. Chem. Soc.," Vol. 52, p. 3,927, 1930.

de ses hydrates, et trouvent pour la chaleur d'hydratation de $\text{Al}^2\text{O}^3 \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{H}^2\text{O}$, 214 Kcal à 20° par molécule-gramme et 57,780 Kcal à 20° par molécule-gramme pour $\text{Al}^2\text{O}^3 \cdot 3\text{CaO}$. Pour la chaleur de formation de $\text{Al}^2\text{O}^3 \cdot 3\text{CaO}$ en partant de $\text{Al}^2\text{O}^3 + 3\text{CaO}$, compte tenu des chiffres relevés, dans la littérature technique, on obtient 77 cal/gr. et 2079 Kcal par molécule gramme.

Les investigations de R. Nacken¹⁶ portent sur la chaleur de dissolution des silicates mono et dicalciques; ce savant en déduit les chaleurs de formation des silicates correspondants et obtient :

	Chaleur de dissolution Kcal/mol	Chaleur de formation en partant des oxydes Kcal/mol
pour SiO^2Ca^2	92,671	36,109
„ SiO^2Sr^2	96,291	32,956
„ SiO^2Ba^2	85,030	25,190
„ $\text{SiO}^2\text{Ca}\beta$	48,996	29,877
„ $\text{SiO}^2\text{Ca}\alpha$	50,768	28,105
„ SiO^2Sr	57,418	24,660
„ SiO^2Ba	50,300	20,209

Synthèse, constitution et pétrographie des ciments.

R. Ricke et E. Völker¹⁷ étudient les réactions chimiques qui se déroulent pendant la cuisson, lorsque CaO et MgO attaquent l'argile et les matières argileuses; ils constatent que la fraction de Al^2O^3 devenue soluble par suite de sa combinaison avec CaO est dans la proportion 1 : 2 avec SiO^2 , tandis que $\text{CaO} : \text{Al}^2\text{O}^3 : \text{SiO}^2$ forment des rapports qui se rapprochent de ceux afférents à l'anorthite, soit 1 : 1 : 2, à mesure que la température de cuisson s'élève. En présence de MgO , il en est tout différemment. Jusqu'à 900°, MgO reste pour la plus grande partie soluble dans les acides; à mesure que la température s'élève, la solubilité dans les acides diminue, contrairement à celle de la chaux. L'argile insoluble dans les acides entre également en combinaison dans une faible proportion. Dans les mélanges de CaO et MgO , les deux constituants se comportent comme s'ils étaient isolés.

En chauffant CO^2Ca et SiO^2 dans la proportion de 2 à 4 en présence de B^2O^3 (acide borique)¹⁸, le diagramme fait ressortir à 1200° une réaction exothermique, qu'il y a lieu d'imputer à la formation du silicate, et ensuite une réaction endothermique, qu'il faut imputer à la transformation de la variété β en variété α . B^2O^3 ne joue aucun rôle dans la première réaction, mais accélère la suivante. Avec le mélange des oxydes présents dans le clinker dans les proportions adoptées dans la pratique, on a obtenu des diagrammes de chauffage analogues, présentant un point d'inflexion à 1300°. B^2O^3 ne subit que peu de modifications, mais, contrairement à toute attente, les clinkers contiennent une plus grande proportion de chaux libre. W. C. Hansen¹⁹ a fait des recherches concernant l'influence des fondants sur la température de fusion des mélanges, analogues à celui du ciment Portland, et a trouvé, en l'absence de tout fondant, une température de fusion de 1455°; en ajoutant MgO , la température était voisine de 1375°, en remplaçant MgO par Fe^2O^3 elle était voisine de 1300°, en présence de Na^2O seul, elle était voisine de 1430°; en employant simultanément

¹⁶ 53e Conférence de l'Association des Fabricants allemands du Ciment Portland.

¹⁷ "Ber. Deutsche Keram. Geo.," Vol. 11, p. 608, 1930.

¹⁸ "J. Franklin Inst.," Vol. 209, p. 837, 1930.

¹⁹ "Bureau Standards, J. Res.," Vol. 4, p. 55, 1930.

ment MgO et Fe^2O^3 elle était voisine de 1300° ; en présence de Na^2O seul, on avait près de 1430° , en faisant intervenir MgO , près de 1365° , avec Na^2O et Fe^2O^3 , on obtenait environ 1315° , et en présence de tous les oxydes d'addition 1280° . C. H. Luftschitz²⁰ a réalisé la fusion des ciments aluminieux riches en MgO à 1800° environ; ces ciments contenaient généralement peu de CaO et de SiO^2 , mais environ 10% de FeO , et l'on n'a pu en obtenir qui eussent présenté une valeur commerciale. A. J. Blank²¹ a préparé des mélanges de matières premières pour ciment Portland avec 8-19% de MgO , mais ces derniers se mettaient en boule lors de leur cuisson au four rotatif. Les ciments ainsi cuits présentaient de bonnes propriétés mécaniques, mais finissaient par tomber en menus fragments; les moins mauvais, mais cependant utilisables, étaient ceux contenant de 6,2 à 7,6% de MgO . Pour la synthèse du ciment, Kuhl, S. Nagai et K. Akiyama²² se sont servis d'une pouzzolane riche en Fe , et ont dosé la chaux qui s'était combinée pendant la cuisson, laquelle était parfaite à 1035° , et le ciment Kuhl obtenu de cette manière présentait après 28 jours une résistance à la compression de 28 Kg/cm^2 . Dans un autre cas²³ on a préparé le ciment Kuhl en partant de scories cuivreuses riches en fer et d'argile grasse.

D'autres investigations²⁴ concernaient la fabrication du ciment Kuhl en partant de matières premières naturelles. Les propriétés mécaniques sont d'autant meilleures que la teneur en R^2O^3 est plus élevée et répartie par moitié entre Fe et Al (7 à 9% chaque), et pour une teneur en CaO égale à 61,7-62,5%. Les travaux ont été poursuivis conjointement avec K. Asaoko²⁵, et il a été obtenu avec une température de cuisson de 1450° un ciment de la composition $\text{CaO}=65\%$, $\text{Fe}^2\text{O}^3=9\%$, $\text{Al}^2\text{O}^3=2\%$, $\text{SiO}^2=22\%$, en partant de scories cuivreuses, de scories résultant du traitement des pyrites, et de pierre calcaire. Les propriétés mécaniques de ces ciments étaient inférieures à celles du ciment Kuhl et du ciment Portland.

Les investigations de N. P. Costa²⁶ ont porté sur les propriétés cristallographiques des constituants formant la texture des ciments Portland argentins préparés par voie sèche, des ciments Portland allemands préparés par voie humide, et des ciments fondus aluminieux français. De la comparaison des sections polies, clinkers bruts de fabrication avec celles de divers échantillons refroidis plus ou moins brusquement par immersion, on a pu tirer des conclusions sur la nature chimique des constituants, sur leur disposition réciproque dans l'espace et sur leur rapport numérique, en fonction du mode de refroidissement. En raison de la rareté au Japon des minerais riches en alumine S. Nagai²⁷ a tenté de préparer des ciments à base de chaux et d'alumine, avec 30% de Al^2O^3 et 50% de CaO . Les mortiers préparés à titre expérimental avec ces ciments perdaient leur résistance après conservation dans l'eau, alors que cette résistance augmentait dans le cas de la conservation alternée. L'addition de 0,5 à 1% de borax²⁸ exerçait une influence favorable sur la température de cuisson et sur la qualité du clinker, mais la conservation dans l'eau nuisait à leur résistance, en raison du lessivage de la chaux. En collaboration avec K. Asaoko S. Nagai²⁹ a préparé des ferrites de calcium et des ciments de fer. Seul $\text{Fe}^2\text{O}^3 \cdot 2\text{CaO}$ présente des propriétés hydrauliques, mais cette substance ne durcit qu'à l'air.

²⁰ "Tonind. Zeit.," Vol. 54, p. 887, 1930.

²¹ "Concrete," Vol. 37, No. 2, p. 85, 1930.

²² "J. Soc. Chem. Ind.," Japan, Suppl. 33, p. 47B, 1930.

²³ *Ibid.*, p. 85B. ²⁴ *Ibid.*, p. 137B. ²⁵ *Ibid.*, p. 312B.

²⁶ "Ann. Soc. Cient.," Argentina, Vol. 109, p. 73, 1930.

²⁷ "J. Soc. Chem. Ind.," Japan, Suppl. 33, p. 167B, 1930.

²⁸ *Ibid.*, p. 196B. ²⁹ *Ibid.*, p. 190B.

De l'identité des spectres de Debye fournis par $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$ et $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$, R. Brill³⁰ déduit que ces deux substances sont identiques, et que la première contient seulement de la chaux libre en plus. Selon l'opinion de A. Guttman et F. Gille³¹ la préparation examinée par Brill n'est pas constituée par $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$, parce qu'ayant été d'abord fondue, elle n'a pas été chauffée ensuite pendant un temps suffisant. Selon S. Nagai et K. Asaoko³², $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$ se formerait très difficilement, hors la présence d'aluminates et de ferrites.

S. Nagai et R. Naito³³ ont fait chauffer des mélanges d'oxydes, formés par $8\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$, correspondant à la composition de la janneckéite, et ont montré que la chaux se combinait entièrement. Après 28 jours de conservation alternée, le produit obtenu par concrétion présentait une résistance de 49 Kgs/cm².

K. Koyanagi³⁴ a tenté d'obtenir des sphérolites en faisant refroidir à différentes allures de l'alumine et de la chaux fondues ensemble; ce résultat s'obtenait quand le bain avait la composition $2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CaO}$. G. A. Rankin, en étudiant ce système $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$, n'a pu identifier la substance de cette composition, mais, selon Koyanagi, elle semblerait exister néanmoins. L. T. Brownmiller et R. H. Bogue³⁵ ont appliqué la méthode d'examen par les rayons X à leurs investigations sur la constitution du ciment Portland. Les recherches sur $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$ ont montré que cette substance existait réellement, et qu'il est possible de l'obtenir par chauffage en partant des oxydes. $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$ ne contient pas de CaO à l'état de solution solide en quantités appréciables. Les mélanges des deux oxydes, formés par 2-3 molécules de CaO pour 1 molécule de SiO_2 , produisent après chauffage des mélanges de $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$ et de $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$, γ ou β . On n'a pu identifier la substance $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{CaO}$, ni dans le système $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{CaO}$, ni dans le ciment Portland. En partant des constituants dans la proportion où ils se trouvent dans cette substance, on a obtenu après cuisson $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$, $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO} - \beta$, et $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$, et tant que l'état d'équilibre n'était pas atteint, il existait en outre de la chaux libre. Dans les clinkers industriels, on n'a pas trouvé de chaux libre, quoique les rayons X permettent de l'identifier dès qu'elle atteint la proportion de 2,5%.

I. Weyer³⁶ a étudié la constitution minérale des mélanges de Kaolin et de chaux après fusion complète par l'examen microscopique et avec rayons X, ces travaux ont confirmé l'existence des substances $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$, $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$, et $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$, obtenues en partant des corps chimiques purs. La formation de $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$ en partant des farines crues synthétiques commence vers 1300°. On prépare des mélanges de métakaolin $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ et de chaux dans la proportion de 1 à 8, 9, 10, et 12, et l'on procède à leur cuisson à $1450 \pm 10^\circ$ pendant 5 à 6 heures. Les clinkers comportant moins de 9 molécules de CaO, pour 1 molécule de métakaolin sont constitués en majeure partie par $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$. Dans les mélanges comportant plus de 9 molécules de CaO, on ne peut plus identifier de silicate dicalcique, la totalité de SiO_2 étant combinée sous forme de $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$. La cuisson aux températures plus élevées n'apportait aucun changement.

Par l'examen aux rayons X et des expériences de coloration au moyen de bleu patent, il a été prouvé que les propriétés hydrauliques du ciment Portland ne reposent pratiquement que sur le silicate tricalcique pur, que l'on admet être l'alite, et qui ne présente aucune aptitude à former des cristaux mixtes avec $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$.

(A suivre.)

³⁰ "Zement," Vol. 19, p. 914, 1930. ³¹ *Ibid.*, Vol. 19, p. 914, 1930.

³² "J. Soc. Chem. Ind.," Japan, Suppl. 33, p. 315B, 1930. ³³ *Ibid.*, p. 256B.

³⁴ *Ibid.*, p. 352B. ³⁵ "Amer. J. Sci.," Vol. 20, p. 241, 1930; et "Bureau Standards J. Res.," Vol. 5, p. 813, 1930. ³⁶ Dissertation, Kiel, 1930.

Contribution à l'étude du durcissement du ciment Portland.

Par F. F. TIPPMANN.

On peut ranger sous les trois rubriques ci-dessous les théories actuelles sur le durcissement du ciment Portland :

(1) La théorie de la cristallisation, représentée par Le Châtelier, et autres.

(2) La théorie colloïdale (ou du gel) de Michaelis, dont les principaux protagonistes, dans le sens le plus large du mot, sont, entre autres, le professeur dr Kuhl, et A. Hauenschild.

(3) La théorie cristallo-colloïdale, soutenue par Keisermann, Blumenthal, Scheidler, et plus récemment, entre autres, par le dr Biehl et le dr H. W. Gonell.

Toutes ces théories présentent cette particularité de n'attacher qu'une importance très réduite à l'hydrate de chaux qui se forme aux dépens de la masse, lors de l'hydratation du ciment; toutes sont d'accord pour dire que ce phénomène secondaire n'exerce aucune répercussion essentielle sur le phénomène principal, qu'il est même nuisible, et on ne lui attribue en somme aucun rôle défini. Il existe en outre une grande divergence d'opinions sur la quantité d'hydrate de chaux qui se forme effectivement.

La place me manquant pour discuter les théories énumérées plus haut, ce qui a déjà été fait à maintes reprises et en détail dans la présente publication, et je me bornerai à soumettre à un examen critique la thèse du professeur dr Kuhl, et à la confronter avec les résultats de mes propres recherches sur le durcissement du ciment, exécutées il y a deux ans à peine, comme suite à mes travaux sur le même sujet, commencés il y a une dizaine d'années.

Prenant la succession de Michaelis, le professeur dr Kuhl, comme on le sait, est actuellement le partisan le plus zélé de la théorie du gel, à laquelle il a donné une nouvelle ampleur; M. Kuhl a du reste résumé tout dernièrement et d'une façon très claire, dans la présente publication, la thèse qu'il professe sur le durcissement du ciment; cet exposé, qui forme le quatrième de la série d'articles dus à ce savant, a paru dans le numéro 1 de cette année, sous le titre : " Le problème du durcissement, et son rôle dans l'étude du ciment. "

Antérieurement, M. Kuhl avait émis cette opinion que " même dans le ciment Portland de la meilleure qualité, stable de volume, il se formait, lors de l'hydratation, aux dépens de la masse, de l'hydrate de chaux en quantité considérable, et que l'on pouvait constater facilement sa présence au microscope dans le mortier durci, sous forme de tablettes hexagonales ¹. Ce savant semble avoir abandonné par la suite cette conception, car l'article précité précise entre autres qu'il s'est efforcé en vain, pendant de nombreuses années, d'identifier dans les sections minces prélevées sur le ciment durci les plaques, les aiguilles et les masses de gel que l'on obtient si nettement au laboratoire en partant du ciment gâché avec une grande quantité d'eau; ce n'est que très exceptionnellement que l'on a pu constater quelquefois la présence de tablettes d'hydrate de chaux. M. Kuhl admet par suite que les particules nouvellement formées sont enrobées dans une masse agglomérante, et qu'une fraction largement prédominante d'entre elles sort des limites de la visibilité microscopique. On ne peut déceler de formations cristallines que dans les mortiers durcis

¹ Conférence faite le 2 Mars 1912 à la Réunion de l'Association des fabricants allemands de ciment Portland.

depuis longtemps, ce qu'il impute à la modification de la masse agglomérante colloïdale, qui prend l'état cristallin, autrement dit au vieillissement du système. En outre, selon M. Kuhl, en employant l'eau en quantité normale, l'hydrolyse n'est pas complète, elle ne dégage pas complètement la chaux, la silice et l'alumine de leurs combinaisons, de sorte que leurs oxydes hydratés ne peuvent se former; c'est du reste à cette raison qu'est due l'absence des cristaux que l'on observe en grand nombre, si le gâchage a eu lieu avec une grande quantité d'eau.

En principe, Kuhl se base sur la théorie de Michaelis, dite théorie du gel; sans nier que les phénomènes de cristallisation peuvent contribuer dans une certaine mesure au durcissement, il estime que le durcissement a pour cause le plissement d'une masse de gel, même si certains phénomènes de cristallisation devaient contribuer à ce résultat dans une certaine mesure. Ces phénomènes de cristallisation ne peuvent toutefois être pris en considération pour tirer au clair le processus fondamental du durcissement, sinon, en examinant au microscope les ciments durcis, on verrait le résultat de ces phénomènes de cristallisation, sous forme d'aiguilles ou de tablettes. Quand l'hydratation a produit tous ses effets au point de vue formation de substances nouvelles, il subsiste encore, selon Kuhl, une certaine quantité de chaux, que l'on retrouve à l'état libre dans le ciment; on ne sait encore si cette chaux se présente à l'état colloïdal ou à l'état cristallin, mais Kuhl admet que la plus grande partie, ou au moins une fraction de l'hydrate de chaux prend d'abord l'état amorphe ou colloïdal, sinon le microscope de polarisation permettrait de suivre les progrès de sa cristallisation, même dans le mortier frais.

Selon Kuhl, et sans avoir pu l'identifier dans les sections minces, le seul produit d'hydratation qui se présenterait dans le mortier de ciment après durcissement serait le sulfo-aluminate de calcium; cette hypothèse ne serait qu'en désaccord apparent avec cette assertion, basée sur ses observations, qu'après durcissement, un gel, formant une masse amorphe, constitue l'élément prédominant du mortier de ciment; il suffit d'admettre que les fines aiguilles du sulfo-aluminate cristallin, dont la quantité est infime, sont noyées dans cette masse de gel.²

Le professeur Kuhl³ rejette avec raison la méthode d'investigation qui consiste à employer de grandes quantités d'eau, méthode qui a été surtout appliquée, entre autres, par Blumenthal, Keisermann, et Scheidler, et qui s'écarte complètement des conditions de la pratique. Il en est de même de la méthode de Pulfrich et Linck,⁴ qui substitue progressivement la glycérine à l'eau; la force probante de cette méthode est faible, car la glycérine, comme le sucre, exerce une action retardatrice sur la cristallisation. Cette propriété de la glycérine a été mise en évidence par Donath,⁵ et mes propres recherches l'ont confirmée.

Dans ses investigations sur le processus du durcissement, faites au microscope, le professeur dr Kuhl emploie de préférence la méthode des sections minces. Au début, j'ai eu également recours pendant longtemps à cette méthode, mais je me permets de faire remarquer à M. Kuhl que cette méthode est vraiment peu révélatrice. Par la suite, j'ai utilisé pour mes recherches des sections polies de ciment durci, avivées ou non par divers acides; je projetais sur ces sections un faisceau lumineux d'incidence normale, émis par un illuminateur vertical, et j'ai abouti aux mêmes résultats négatifs.

J'en suis arrivé à cette opinion, qu'en vue des recherches sur le ciment durci,

² CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, 4, 14, 1931.

³ Cement, 13, 362, 1924.

⁴ Kolloid-Zeitschrift, 34, 117, 1924.

⁵ Chem.-Industrie, 34, p. 123, 1911.

et avec les grossissements que l'on peut envisager, l'emploi de sections minces et celui de sections polies constituent des méthodes grossières et peu élégantes; même si l'on procède au polissage avec le plus grand soin, on altère inévitablement la structure de la section ainsi préparée, les fines rayures, en quantité innombrable, nuisent à la précision de l'observation, et bien des particularités, peut-être pleines d'intérêt, échappent ainsi à l'observateur.

Il y a déjà cinq ans environ, j'ai insisté à maintes reprises sur ce point, que l'on commettait peut-être une erreur complète en attaquant en "bloc" le problème du durcissement du ciment Portland, autrement dit en faisant dès l'abord les recherches sur le ciment Portland lui-même, avant même d'avoir élucidé, ne serait-ce qu'en partie, le problème de l'hydratation individuelle des éléments les plus importants du ciment Portland. Cette remarque concernait tout particulièrement le constituant principal du ciment Portland, la chaux, et j'avais spécialement attiré l'attention sur un phénomène des plus intéressants et des plus curieux qui accompagnent l'hydratation de l'oxyde de calcium. Malheureusement on n'a prêté qu'une attention restreinte à mes assertions; il est pourtant incontestable que mes observations méritaient de provoquer un complément de recherches; je disais que lorsqu'un hydrate de chaux se forme par hydrolyse aux dépens d'une substance quelconque, gâchée à l'eau, on ne se trouvait pas réellement en présence de chaux éteinte, car l'hydrate de chaux qui s'est formé aux dépens de cette substance prend exclusivement l'état cristallin, alors que l'extinction de l'oxyde de calcium pur produit toujours de l'hydrate de chaux amorphe et colloïdal, qui ne se transforme jamais en hydrate de chaux cristallin, même au bout de dix ans. J'ajoutais que le gypse agit comme retardateur s'il se trouve incorporé aux substances dont il vient d'être question, mais que son action tend à augmenter la quantité d'hydrate de chaux cristallin qui se forme.

Il y a quatre ans, j'avais repris mes recherches en ce sens, mais j'ai dû malheureusement les interrompre il y a deux ans, appelé à d'autres occupations. Toujours est-il que mes études sur ces questions ont produit une foule de résultats intéressants, qui seraient susceptibles de donner une orientation nouvelle aux opinions qui règnent actuellement sur le problème du durcissement.

N'ayant qu'un faible espoir de pouvoir un jour reprendre mes recherches, je me propose de condenser tous les résultats que j'ai obtenus à ce jour, et de les publier prochainement sous le titre "Etudes physico-chimiques et cristallographiques sur l'hydrate de chaux. Possibilités de durcissement des gélées colloïdales; la prise et le durcissement du ciment Portland, expliqués par la transformation de l'hydrate de chaux en variété cristallisable." Dans les lignes qui suivent, j'exposerai succinctement quelques résultats de ce travail, concernant plus particulièrement le processus du durcissement du ciment Portland.

(1) Seul l'hydrate de chaux formé par hydrolyse est cristallisable, et seul il passe directement de l'état dissous par molécules à l'état cristallin, sans passer par la phase colloïdale intermédiaire.

Que l'on le gâche avec la quantité d'eau normale, ou avec un excès d'eau, l'oxyde de calcium pur forme exclusivement de l'hydrate de chaux amorphe, en partie colloïdale, et ne produit pas d'hydrate de chaux cristallin, l'expérience durerait-elle des années. Quelle que soit la durée pendant laquelle la liqueur saturée d'hydrate de chaux reste en présence de l'hydrate de chaux amorphe qui a servi à la préparer, il ne se forme jamais d'hydrate de chaux cristallin.

La figure 1 (page 1116) représente un flacon contenant du ciment Portland qui s'est gonflé et aux dépens duquel se sont formés en grand nombre des

cristaux d'hydrate de chaux, fortement adhérents à la paroi du récipient; la figure 2 (à gauche) représente par contre un flacon contenant de l'hydrate de chaux amorphe, obtenu par extinction en partant de chaux caustique pure; après deux ans, l'examen microscopique de ce flacon ne décèle aucune trace d'hydrate de chaux cristallin.

(2) Par l'emploi d'un stimulant, l'hydrate de chaux peut devenir cristallisable; comme stimulant, citons particulièrement le sulfate de calcium et, dans une moindre mesure, la silice à l'état de gel.

La figure 2 reproduit les préparations macroscopiques, qui m'ont permis de découvrir ces phénomènes. L'extinction de la chaux vive ne produit pas de chaux amorphe, en raison de la présence de gypse dans le liquide, et provoque la formation aux dépens de la substance mère, d'hydrate de chaux cristallin en quantité très abondante. Les figs. 3 et 4 (page 1117) sont des reproductions microscopiques analogues.

Ces phénomènes jettent une nouvelle lumière sur la question du gypse, qui se comporte ainsi comme retardateur pour la prise et comme améliorant pour la résistance. En partant de la chaux vive et du plâtre, on peut également préparer un mortier de tout premier ordre, dont le durcissement est dû à l'hydrate de chaux, qui cristallise dès sa formation.

(3) Lorsque l'examen microscopique porte sur du ciment gâché avec un grand excès d'eau, il se forme toujours des cristaux aciculaires, qui, selon l'opinion générale, seraient du silicate monocalcique hydraté; pour obtenir les mêmes cristaux, dans les mêmes conditions, avec la même forme, et avec les mêmes propriétés optiques, par hydratation de l'oxyde de chaux pur, il suffit d'ajouter une trace de gypse en solution au liquide avec lequel on procède à l'hydratation. Les aiguilles ne peuvent par suite pas être du silicate de calcium hydraté; elles sont constituées par de l'hydrate de chaux cristallin. Les cristaux aciculaires d'hydrate de chaux que l'on voit figure 5 (page 1118) ont été obtenus par hydratation de l'oxyde de calcium très pur.

Ces cristaux aciculaires sont l'une des formes somatoïdes (analogues à la matière vivante) que peut prendre l'hydrate de chaux alcalin lors de sa formation, mais ils ne jouent aucun rôle dans le processus du durcissement; et on n'en trouve pas trace dans le mortier de ciment gâché avec la quantité d'eau normale, car alors les conditions requises ne se réalisent pas. Ces cristaux ne se forment pas, même en présence d'un grand excès d'eau, si les granules de ciment sont suffisamment serrés pour constituer des enceintes sans issue, dans lesquelles l'hydrate de chaux forme une solution de concentration uniforme.

(4) Le système $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ subit une contraction s'il se forme de l'hydrate de chaux cristallin, et une expansion si l'hydrate de chaux est amorphe et colloïdal. En partant des données suivantes :

CaO	pds mol.	...	=56,07;	pds spéc.	3,3
H ² O	„	..	=18,016;	„	1,0
Ca(OH) ²	„	...	=74,086;	„	2,23 cristallin
Ca(OH) ²	„	...	=74,086;	„	2,08 amorphe et colloïdal

on constate que la réaction se traduit par une contraction de 5,06% si l'hydrate de chaux est cristallin, et par une expansion de 1,56% si l'hydrate de chaux est amorphe, les coefficients étant rapportés au volume primitif des substances entrées en combinaison.

La formation du sulfate de calcium à deux molécules d'eau, en partant de plâtre et d'eau, s'accompagne d'une contraction en volume du système de 9,32%, rapportée au volume primitif des substances entrées en combinaison.

L'expérience du flacon, de Kuhl, ne constitue pas un critérium absolu, et ne

prouve pas que la substance fondamentale ait subi une contraction; cette substance peut être en réalité l'objet d'une expansion, même si le ménisque du tube descend. Aussi longtemps que nous ignorerons sous quelle forme l'eau de cristallisation se trouve dans les cristaux, et l'eau de constitution dans les gelées colloïdales, il est impossible de répondre catégoriquement à ces questions. Si, au lieu d'eau, on emploie diverses liqueurs, comme l'eau de chaux, l'eau plâtrée, le sucre dissous, etc, l'expérience du flacon de Kuhl donne du reste des résultats intéressants, que j'expose en détail dans le compte rendu de mes travaux de recherches, dont il a été question plus haut.

(5) Les deux variétés d'hydrate de chaux se comportant d'une façon si radicalement différente, on se rend compte de l'inutilité de tous les essais ayant pour objet de produire synthétiquement les silicates de calcium hydratés, en faisant agir l'oxyde de chaux pur, ou la liqueur d'hydrate de chaux qu'il a servi à préparer, sur la silice colloïdale. On n'est du reste pas encore parvenu à obtenir du silicate de calcium hydraté cristallin ou colloïdal répondant à une définition précise, et, aux températures normales, on n'y parviendra probablement jamais.

La silice ne présente une réaction acide bien nette qu'à température élevée, et ne se combine à l'oxyde de calcium que dans les mêmes conditions; à la température ordinaire, sa réaction acide est insignifiante. Il s'ensuit que la silice n'a qu'une très faible affinité pour l'hydrate de chaux en solution aqueuse. A mon avis, le silicate de chaux hydraté n'a qu'une très faible tendance à se former; cette tendance provient de ce que, par suite de sa structure particulière, la silice colloïdale a la propriété de fixer superficiellement et dans ses micro-canaux une quantité variable d'hydrate de chaux, et d'en provoquer l'épaississement, phénomène analogue à la condensation de l'hydrogène, en présence de platine ou de palladium à l'état de fine division. Deux phénomènes entrent ainsi en jeu: (1) une réaction effective, quoique très faible, par affinité entre l'hydrate de chaux et la silice, et (2), une action capillaire, due aux micro-canaux que comporte la structure des gelées de silice, et qui se traduit pour l'hydrate de chaux en solution par l'épaississement très prononcé de la liqueur à l'intérieur de la gelée de silice. On peut considérer ces phénomènes comme étant la phase préliminaire de la formation du silicate de calcium hydraté, sans que cette formation puisse s'accomplir effectivement, en l'absence des conditions voulues à cette fin. Finalement, et surtout quand il s'agit du durcissement du ciment Portland, la solution saturée d'hydrate de chaux forme dans les micro-canaux de la gelée de silice des cristaux crypto-cristallins, ce qui donne l'illusion que la phase gélatineuse évolue jusqu'à prendre l'état cristallin, phénomène auquel on donne le nom de "vieillessement" de la phase colloïdale. Lorsque la gelée de silice s'épaissit, et qu'elle quitte l'état liquide (d'où son durcissement subséquent), c'est toutefois l'hydrate de chaux cristallin qui joue le rôle de premier plan.

Avec un grossissement de 1000 à 1500 fois, on observe très nettement les micro-canaux qui caractérisent la structure de la silice; celle qui convient le mieux à cette fin est la silice qui se précipite instantanément quand on décompose le ciment Portland par l'acide chlorhydrique, et qui n'est pas aussi gélatineuse que celle que l'on obtient ensuite en la traitant à la vapeur d'eau. Une autre expérience pleine d'intérêt est d'observer la manière dont la liqueur d'hydrate de chaux expulse l'eau pure de la silice gélatineuse; l'expérience consiste à laisser couler avec précaution, d'une micro-pipette, de l'hydrate de chaux en solution saturée et colorée en rouge à l'orthopurpurine, sur la silice gélatineuse, conservée à l'eau distillée; on observe particulièrement bien le phénomène au microscope.

(6) La raison pour laquelle M. Kuhl est un partisan si convaincu de la théorie du gel, est qu'il n'a réussi à identifier dans le ciment pendant et après son durcissement aucun constituant cristallin, ni surtout le sulfo-aluminate de calcium. Peut-être les méthodes appliquées par lui n'étaient-elles pas les bonnes ; toujours est-il qu'il s'est dépensé en vain pour voir les " tablettes hexagonales." Etant donnée la grande viscosité du mortier de ciment frais, gâché avec la quantité d'eau normale, il est pourtant à présumer qu'il se forme de l'hydrate de chaux à l'état somatoïde.

Dans ce qui suit, je me propose de décrire une méthode très simple pour étudier au microscope les phénomènes de prise et de durcissement du mortier de ciment, gâché avec la quantité normale d'eau ; on se reportera à ce sujet au schéma figure 6. Cette méthode permet, non seulement d'observer directement l'hydrate de chaux cristallin, mais montre en outre que la totalité de l'hydrate

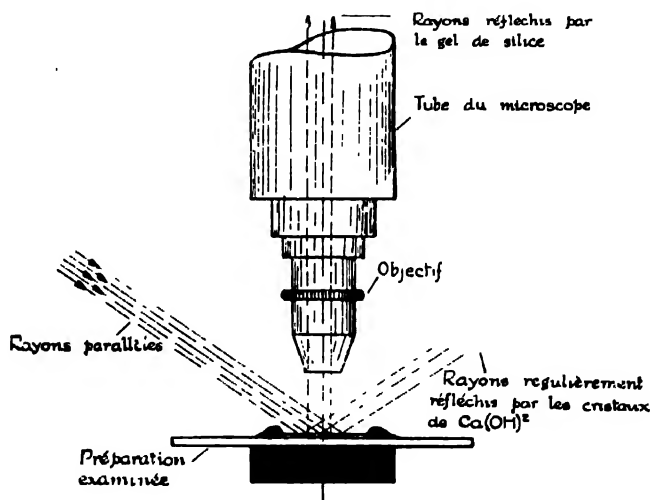


Fig. 6.

de chaux qui s'est formé par hydrolyse aux dépens de la pâte prend la forme cristalline, ce qui donne une orientation toute nouvelle à l'ensemble de la théorie du durcissement du ciment Portland.

La confection des préparations se fait de la façon la plus simple ; on dépose un peu de mortier frais de consistance normale sur le porte-objet, on l'écrase avec le verre qui doit le couvrir, pour en faire une couche mince, et on borde aussitôt le verre avec de la paraffine. Comme la préparation est observée sous une lumière d'incidence oblique, l'épaisseur de la couche est sans importance aucune ; en tamisant le ciment au tamis de 4900 ou 10.000 mailles, on parvient toutefois très facilement à obtenir une couche de mortier assez mince pour être observée par transparence, ce qui donne un intérêt tout particulier aux observations.

Comme le montre la figure 6, la méthode préconisée consiste à examiner la surface de la préparation sous une lumière d'incidence oblique. Les rayons lumineux obliques qui tombent sur la surface des cristaux y sont réfléchis suivant la loi de la réflexion de la lumière, et ne se dirigent par suite pas vers l'oeil de l'observateur. Il en résulte que les cristaux forment des taches sombres dans le champ de vision ; les substances colloïdales, qui ne comportent pas de surfaces nettes et forment une masse spongieuse comme de l'écume, réfléchissent

par contre les rayons de telle façon qu'une partie d'entre eux arrivent à l'oeil de l'observateur, et apparaissent en clair dans le champ de vision.

La méthode ne permet évidemment pas l'emploi de forts grossissements, car la première lentille de l'objectif doit rester à une distance déterminée de la préparation. Mais, même avec de faibles grossissements, on obtient des résultats très satisfaisants; j'utilisais pour mes observations un objectif ayant une distance focale équivalente à 12,6 mm (objectif achromatique de Winkel No. 6), et un oculaire compensateur Winkel-Zeiss No. 6, ce qui donnait un grossissement linéaire de 205 fois. Il est cependant très difficile de saisir par la micro-photographie l'image de ces surfaces.

En appliquant cette méthode aux préparations de ciment gâché avec la quantité normale d'eau, on constate qu'après 8 ou 10 heures seulement elles présentent l'aspect que montrent les figures 7 et 8 (page 1120). Les surfaces obscures sont des cristaux d'hydrate de chaux, et le fond, qui ressort en clair parce que spongieux comme de l'écume, est constitué par des gelées de silice encore très riches en éléments liquides, et par des particules de ciment non encore décomposées. Les cristaux d'hydrate de chaux ne formeraient donc pas des tablettes hexagonales, mais de minces lamelles cristallines, dont le rôle utile est de remplir les interstices de la masse. Ces lamelles constituent une forme somatoïde de l'hydrate de chaux cristallin, due à la viscosité du milieu liquide environnant; on peut les comparer à des fibres noyées dans de la colle de pâte, et leur croissance est très rapide.

Si l'on a réussi à obtenir des préparations suffisamment minces pour être examinées par transparence, on comprend parfaitement la raison pour laquelle les sections minces préparées avec du ciment durci ne permettent que des observations très grossières; toujours est-il qu'entre Nicols croisés, après deux ou trois jours seulement, mes préparations s'illuminent d'une façon incontestablement plus vive que les sections minces, même datant de longtemps.

La figure 9 (page 1121) reproduit la surface que présente après 24 heures le ciment à haute résistance de la fabrique de ciment Portland Wurelingen-Siggenthal, en Suisse, sur lequel j'ai procédé à mes premières observations. La figure 10 (page 1121) montre l'aspect de la surface au même endroit, après 28 jours de durcissement; les cristaux d'hydrate de chaux ont été l'objet d'une croissance considérable, et les surfaces cristallines cohérentes couvrent déjà plus de 60% du champ visuel. La surface des gelées de silice est devenue par contre très petite, et n'occupe plus que 40% à peine du champ visuel. L'action de compression, due à la croissance des cristaux d'hydrate de chaux, a expulsé dans une large mesure l'élément liquide des gelées de silice; ces dernières se sont resserrées, et la résistance du ciment a dû augmenter dans une proportion très notable. A noter que les petites surfaces occupées par les gelées de silice sont délimitées par des lignes droites, provenant des arêtes des cristaux d'hydrate de chaux; les gelées colloïdales occupent ainsi des espaces parfaitement définis, délimités par les cristaux.

En cours de durcissement, il ne se forme pas de cristaux à la surface seulement, mais dans toute la masse du ciment, comme le montre la cassure fraîche d'un mortier déjà durci, examinée suivant une méthode d'observation analogue.

La pratique de cette méthode permet en outre d'obtenir de bonnes précisions sur la qualité d'un ciment.

La figure 11 (page 1122) représentent d'une manière un peu conventionnelle les aspects qui se révèlent à l'examen. La figure a montre la forme approximative des cristaux d'hydrate de chaux au début du durcissement; les cristaux, noyés dans les gelées de silice, sont encore riches en éléments liquides, et se

présentent comme indiqué par les microphotographies figures 7, 8, et 9 (pages 1120, 1). La figure b montre l'état des cristaux, à une phase ultérieure du durcissement; par suite de leur croissance, les cristaux d'hydrate de chaux (surfaces obscures) ont formé une surface cohérente, ils ont exercé en tous sens leur pression sur les gelées de silice (surfaces claires), ce qui en a expulsé les éléments liquides en grande partie, d'où resserrement des gelées.

Ces cristaux d'hydrate de chaux sont très visibles au grossissement 205, dès qu'ils se présentent en grandes quantités; ce sont eux qui conditionnent le

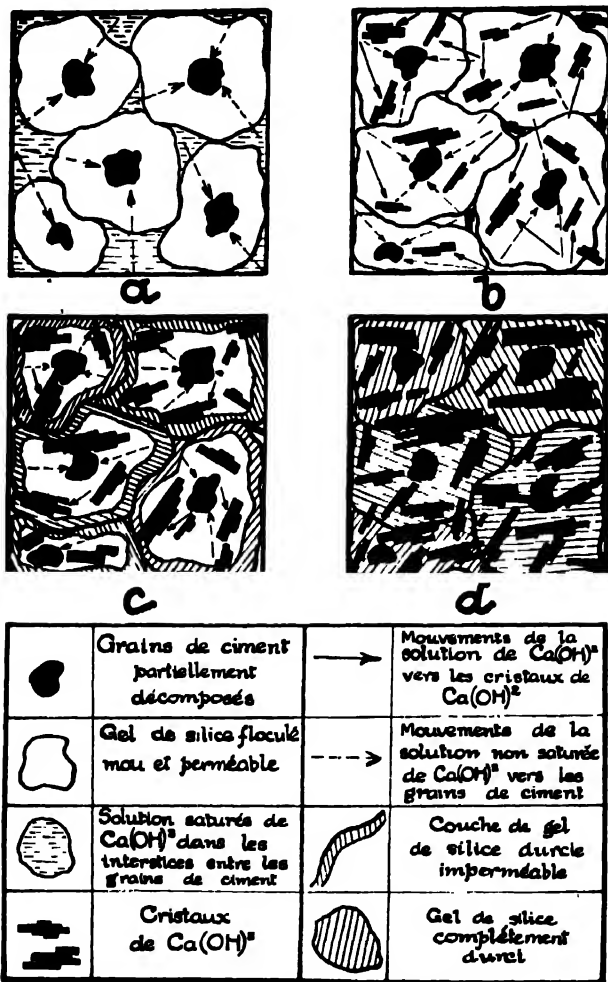


Fig. 12.

passage initial du mortier à l'état solide. A mesure de l'expulsion continue de l'élément liquide de la phase gel, les nouveaux cristaux sont de plus en plus petits, jusqu'à constituer des particules crypto-cristallines dans les microcanaux des gelées, mais ils deviennent toujours plus nombreux, et, à un stade ultérieur du durcissement, ils donnent l'illusion que la phase colloïdale prend l'état cristallin. Mais les quantités visibles d'hydrate de chaux cristallin qui se sont formées suffisent pour montrer nettement que c'est bien la totalité de l'hydrate de chaux séparé par hydrolyse qui prend l'état cristallin, que l'hydrolyse du silicate de calcium du clinker est par suite complète, et qu'il ne

se forme pas de silicate de calcium hydraté par réaction inverse. Ce qui confirme cette assertion, c'est que, si le ciment est gâché avec la quantité d'eau normale, il ne s'hydrate peut-être au plus que dans la proportion de 30 à 40%, et cette seule fraction de la masse entière participe au durcissement.

La prise et le durcissement ne diffèrent en rien, mais constituent des phénomènes qui font suite à l'hydratation; ces phénomènes sont intimement solidaires, et se complètent sans qu'il y ait une ligne de démarcation bien nette entre eux.

(7) Dans l'avenir, les recherches ne pourront que confirmer de façon absolue ces observations, qui constituent des arguments décisifs en faveur d'une théorie nouvelle et très vraisemblable du durcissement, théorie que nous exposons ci-dessous en nous appuyant sur le schéma figure 12 (page 1154). Rappelons que cette théorie ne fait entrer en ligne de compte que la chaux et la silice contenues dans le ciment Portland, soit environ 87% de ce matériau.

Sous l'action de l'eau, les silicates de chaux du clinker sont complètement décomposés en hydrate de chaux, dont les molécules entrent en solution, et en sol aqueux de silice, qui se prend en gel sous l'action de la solution saturée et fortement basique d'hydrate de chaux, dont l'élément liquide, qui conditionne sa viscosité, est ainsi la solution saturée d'hydrate de chaux.

La figure 12 a (page 1154) fait ressortir l'état de la pâte de ciment de consistance normale, dès après son gâchage. Le système est très riche en éléments liquides, et les particules de ciment ont été décomposées superficiellement. Les flocules de gelée de silice qui se sont formés aux dépens des particules de ciment sont très volumineux, perméables à la solution moléculaire d'hydrate de chaux, et entourés de granules de ciment. L'eau de gâchage n'est pas encore complètement saturée d'hydrate de chaux en raison du gypse qui entre également en solution, car le gypse ainsi dissous augmente de beaucoup le pouvoir dissolvant de l'eau à l'égard de l'hydrate de chaux, ce qui retarde le moment où l'eau se trouvera sursaturée. La silice qui a pris naissance aux dépens des particules de ciment forme naturellement tout d'abord un sol, constituant pour ainsi dire à l'état naissant de cette substance; ce n'est qu'à une concentration déterminée que l'eau de gâchage flocule l'hydrate de chaux sous forme de gelée. La liqueur d'hydrate de chaux envahit les gelées de silice et atteint ainsi les granules de ciment, pour former de nouvelles gelées tout en approchant de son point de saturation.

La figure 12 b montre le début de la prise; l'action retardatrice du gypse entré en solution a cessé, l'eau de gâchage s'est saturée d'hydrate de chaux, et se sursature rapidement par suite de la légère augmentation de température due au dégagement de chaleur qui accompagne la réaction. A ce moment commencent à se former à l'intérieur et à l'extérieur des micelles de gelée, et, aux dépens de l'hydrate de chaux, les noyaux de cristallisation, qui croissent rapidement. Aux essais de prise, le moment précis où l'on constate que l'eau superficielle disparaît très rapidement coïncide avec la coagulation effective de grandes quantités de gel de silice en gelées, physiquement caractérisées par leurs micro-canaux, dont l'existence se traduit par des forces capillaires considérables. Le liquide intermicellaire a disparu, ayant servi d'eau de cristallisation pour former les cristaux d'hydrate de chaux, le reste étant absorbé par les gelées de silice nouvellement formées, auxquelles il donne la consistance qui leur est propre.

A mesure de leur croissance, les cristaux d'hydrate de chaux exercent de tous côtés sur les gelées de silice, molles, riches en éléments liquides, et perméables, une pression qui en expulse progressivement le liquide dont dépend leur consistance, et les rend de plus en plus cohérentes et visqueuses. La

liqueur saturée d'hydrate de chaux s'achemine vers les cristaux en voie de croissance, et contribue à leur formation, ce qui détermine la combinaison chimique d'une molécule d'eau; la liqueur ainsi appauvrie en hydrate de chaux se transporte vers les particules de ciment décomposées à la surface seulement, forme de nouvelles gelées de silice, et se sature à nouveau. L'ensemble du système est ainsi devenu d'une plus grande viscosité.

La figure 12 c montre le mortier de ciment, parvenu à l'état que nous qualifions de "prise."

La compression interne due à la croissance des cristaux d'hydrate de chaux, et l'expulsion progressive des gelées de l'eau qui conditionne leur consistance, font durcir en premier lieu les zones périphériques des gelées de silice. La circulation des liquides devient de plus en plus lente, les cristaux d'hydrate de chaux nouvellement formés sont de plus en plus petits, à mesure que leur nombre s'accroît. Les zones périphériques des gelées de silice se sont progressivement durcies et imperméabilisées, de sorte que le travail de solidification ne progresse plus qu'à l'intérieur des gelées.

La figure 12 d montre enfin la fin du durcissement théorique. Le système entier est en état d'équilibre; la totalité de l'eau s'est combinée, à l'état d'eau de cristallisation, aux cristaux d'hydrate de chaux, qui ont atteint le maximum dont ils sont capables au point de vue grosseur et quantité; par compression, tout l'élément liquide des gelées de silice en a été expulsé, et ces gelées ont durci sans qu'il y ait contraction. Les granules de ciment ne sont pas entièrement décomposés; du reste, il est nécessaire qu'il subsiste un grand excès de substance inaltérée, pour que le durcissement se fasse vite et bien. Pratiquement, le durcissement n'a jamais cette fin idéale, ou du moins elle ne se réalise que très longtemps après, si du moins il se fait dans certaines conditions bien déterminées; l'incorporation éventuelle, sans cesse renouvelée, de nouvelles quantités d'eau, provenant de l'humidité atmosphérique, ou de toute autre source, peut en effet retarder la fin du durcissement. La pratique nous offre à ce sujet de nombreux exemples, et il nous suffit d'évoquer à ce sujet la répercussion qu'exerce sur la résistance le mode de conservation, soit à l'air, soit à l'eau, ou encore qu'il s'agisse de conservation alternée, ou de conservation, dite K. L. La silice, et éventuellement la substance colloïdale qui s'est formée par hydrolyse aux dépens du silicate de calcium, semblent être dans une certaine mesure des colloïdes réversibles.

De cette théorie, on peut déduire ce qui suit :

(a) On peut qualifier de parfait, tout ciment qui n'est sujet ni à expansion, ni à contraction, et, par suite, pour lequel la phase colloïde et la phase cristalloïde se déroulent ensemble de telle façon que la croissance des cristaux d'hydrate de chaux corresponde exactement à la contraction des gelées de silice, et que le volume global du système reste ainsi inchangé. Si l'une ou l'autre des deux phases prédomine, on a un ciment de volume instable.

(b) L'hydrate de chaux, s'il est cristallisable, ne peut être considéré comme la cause de l'expansion du ciment, sauf si l'hydrate de chaux forme des cristaux dits brisants, ce qui ne peut avoir lieu que sous l'eau, avec un mortier mal préparé et insuffisamment épais; la présence de ces cristaux se traduit par une expansion macroscopique locale, avec éclatement de la texture. On ne peut imputer l'expansion par la chaux qu'à la chaux libre, non combinée à la silice du clinker, et qui, lors de l'hydratation, par suite de la lenteur de son extinction, ne peut former de l'hydrate de chaux cristallisable, mais uniquement de l'hydrate de chaux amorphe.

A l'appui de cette théorie, on peut invoquer ce phénomène, que si, après durcissement, un ciment Portland de volume parfaitement stable, réduit en

morceaux, subit une nouvelle cuisson, on obtient un clinker caractérisé par son expansion immédiate et très accentuée, et par le fort dégagement de chaleur que provoque l'hydratation; si, par contre, on réduit le ciment durci à un état de grande finesse, et qu'on le soumette ainsi à la cuisson jusqu'à scorification, on obtient une matière d'une stabilité de volume absolue.

L'expansion par la chaux ne peut pas être non plus expliquée par une "pression de cristallisation dirigée," que le dr Kuhl admet en être la cause principale.

Les propriétés mécaniques du ciment dépendent par suite en premier lieu de la présence, en plus ou moins grande quantité, d'hydrate de chaux cristallisable; comme seul l'hydrate de chaux formé par hydrolyse aux dépens de la masse est cristallisable, on ne pourra spécifier la quantité maximum de chaux hydrauliquement active que doit comporter le clinker, que quand on aura élucidé complètement la question de la constitution du clinker. On peut également admettre, avec la plus grande vraisemblance, que si l'on emploie la quantité normale d'eau pour l'hydratation, les aluminates de calcium du clinker se comporteront comme les silicates de calcium; en tout cas, on ne constate pas, dans le mortier normal, les tablettes d'aluminate de calcium hydraté, qui apparaissent en si grand nombre lorsqu'il y a excès d'eau.

En fin de compte, le sulfo-aluminate de calcium ne joue aucun rôle dans le mortier durci; du reste, on ne constate sa présence que si certaines conditions, réalisées artificiellement, ont été très favorables à sa formation, et s'il y avait beaucoup d'eau dans le mortier. Il ne faut jamais perdre de vue la grande viscosité du mortier de ciment gâché avec la quantité normale d'eau; cette viscosité intervient d'une manière essentielle dans la forme et dans la nature des substances qui résultent de l'hydratation, comme le cas s'est présenté pour l'hydrate de chaux, ainsi que nous l'avons vu.

Si l'on emploie comme eau de gâchage une liqueur faiblement sucrée, l'examen superficiel, pratiqué comme il a été décrit, fait ressortir l'absence complète de ces cristaux d'hydrate de chaux, si aisément identifiables. J'ai constaté, non seulement que cette liqueur constituait un obstacle à la formation des cristaux d'hydrate de chaux, dont l'importance est si grande, mais qu'elle avait en outre pour effet de transformer l'hydrate de chaux généralement cristallisable en hydrate de chaux gélatino-colloïdale. La figure 13 (page 1125) représente de petits cristaux d'hydrate de chaux, réunis par voie micrurgique; si la préparation se fait avec de l'eau sucrée à 5%, en huit jours de temps, ils se transforment en une substance gélatino-colloïdale ayant la composition de l'hydrate de chaux. L'action du sucre se traduit par suite par la texture colloïdale que prend l'hydrate de chaux cristallisable, ce qui entraîne une forte contraction, et le durcissement ne se produit plus que par le vieillissement des gelées qui se sont formées.

Si l'on prépare un mélange synthétique de silice, de chaux caustique finement pulvérisée, et de gypse, ayant approximativement la composition du ciment Portland, ce mélange durcit exactement comme le ciment Portland lui-même. Dans ce cas il se forme également aux dépens des micelles gélatineuses, à l'intérieur et à l'extérieur de ces dernières, des cristaux d'hydrate de chaux dus à l'action stimulante du gypse sur l'hydrate de chaux amorphe; il en résulte que le système arrive à l'état solide sans qu'il y ait contraction.

Dans les conditions normales, l'oxyde de calcium ne peut former que l'hydrate à une seule molécule d'eau; on peut par suite admettre que tout ciment contenant une substance fondamentale autre que l'oxyde de calcium, a nécessairement la propriété de durcir vite et bien, si du moins, par un processus

analogue, l'hydratation produit également des hydrates, mais qui comporteront un plus grand nombre de molécules d'eau.

(8) Considérons encore un exemple de la transformation de l'hydrate de chaux amorphe et expansif en hydrate de chaux cristallisable et stable de volume.

J'avais obtenu par cuisson un ciment contenant 72% d'oxyde de chaux, lequel était extraordinairement expansif, comme il fallait s'y attendre. En vue de l'examen microscopique superficiel, j'ai préparé avec ce ciment et la quantité d'eau normale deux pâtes, l'une sans gypse, l'autre en ajoutant 3% de plâtre (sulfate de calcium plus une demi-molécule d'eau).

La préparation non plâtrée a manifesté son expansion dans les 24 heures; sa surface s'était fissurée en tous sens, elle s'était fendillée et était devenue rugueuse, et le verre qui la recouvrait était bombé comme un verre de montre; après 48 heures, le verre avait éclaté, et toute la masse était pulvérulente. (Je rappellerai accessoirement qu'en relevant au sphéromètre la déformation du verre qui recouvre une telle préparation, on peut apprécier l'instabilité de volume d'un mortier, si minime soit-elle).

La deuxième préparation, qui comportait 3% de plâtre à une demi-molécule d'eau, n'a subi aucune altération; la surface est restée unie, la masse ne s'est pas crevassée, et sa cohésion est demeurée entière. Même aujourd'hui, deux ans après, la préparation ne révèle à l'examen aucune altération, et le verre qui la recouvre est encore tout à fait plat.

Les figures 14 et 15 (page 1126) sont des micro-reproductions de ces deux préparations; on voit très nettement combien elles diffèrent. Le gypse incorporé a effectivement transformé l'hydrate de chaux amorphe colloïdal en hydrate de chaux cristallisable, ce qui prouve que la présence dans un mortier épais d'hydrate de chaux cristallin n'est pas la cause de l'expansion par la chaux.

La théorie du gel, que soutient Kuhl, s'explique imparfaitement par la "suction interne" seule, car le mortier devrait alors être l'objet d'une contraction considérable; en fait, cette contraction est contrariée par la place qu'occupent les cristaux d'hydrate de chaux. Pour obtenir un ciment Portland stable de volume, sans contraction, ayant d'excellentes qualités hydrauliques et mécaniques, il faut que les manifestations de ces deux substances soient en harmonie parfaite. La contraction des colloïdes, par expulsion de l'élément liquide, doit équilibrer l'augmentation de volume des cristaux d'hydrate de chaux, qui accompagne leur croissance.

On doit considérer comme insoutenable la thèse de divers savants, dont M. P. H. Bates*, président du service ciment, béton, et céramique, du Bureau of Standards de Washington, et qui est la suivante: "Si peu précises que soient les données que l'on puisse obtenir sur le silicate hydraté pauvre en chaux que contient le ciment Portland, elles font néanmoins ressortir que cette substance constitue l'agglomérant inorganique parfait, surtout si cet agglomérant ne contient pas de chaux hydratée, ni amorphe, ni cristalline." Il en est de même de l'opinion de M. A. Hauenschild, qui m'a adressé en Septembre 1926 une lettre, dont j'extrais ce qui suit: "Vos travaux sur la cristallisation de l'hydrate de chaux, et les conditions dans lesquelles elle s'opère, sont très intéressants. A mon point de vue, la prise et le durcissement du ciment ne sont pas des phénomènes de cristallisation, mais des phénomènes d'ordre purement colloïdal. La formation de cristaux n'est qu'un phénomène accessoire, qui ne se produit pas si le mortier est épais."

* Zement, 16, 757, 1927.

Lorsque les savants mentionnés ci-dessus auront vérifié les résultats que donnent mes méthodes d'investigation, il ne leur restera plus qu'à se ranger, de leur plein gré ou non, à une théorie du durcissement, plus libérale à l'égard des substances cristalloïdes.

Conclusion.

(1) En présence d'eau, l'hydrolyse des silicates de chaux que contient le clinker est complète, autrement dit, il se forme à leurs dépens des gelées de silice, et de l'hydrate de chaux; ces phénomènes sont indépendants de la quantité d'eau avec laquelle on gâche le ciment.

(2) Lorsque le mortier de ciment est gâché avec la quantité normale d'eau, en raison de la grande viscosité du système, l'hydratation produit des substances qui diffèrent totalement de celles obtenues avec un grand excès d'eau, à la fois par leur forme et par leur nature; dans le premier cas, les substances sont de nature somatoïde.

(3) Les cristaux aciculaires qui se forment dans les préparations de ciment gâchées avec un excès d'eau sont des cristaux d'hydrate de chaux; ces cristaux ne se forment pas dans le mortier de consistance normale.

(4) Dans le ciment en cours de durcissement, il ne se forme pas de silicates de calcium hydratés, ni à l'état cristallin, ni à l'état amorphe et colloïdal.

(5) Dans le mortier de ciment durci, la totalité de l'hydrate de chaux qui s'est formé par hydrolyse à ses dépens se présente sous forme cristalline. Les cristaux d'hydrate de chaux que l'on trouve dans le ciment durci ne prennent la forme ni de tablettes ni de colonnettes hexagonales, comme ceux qui prennent naissance dans le ciment préparé avec beaucoup d'eau; ces cristaux forment des lamelles, dont la configuration correspond à l'espace offert.

(6) L'expansion par la chaux ne peut être imputée à l'hydrate de chaux cristallin, ou même cristallisable. L'hydrate de chaux qui s'est formé par hydrolyse aux dépens de la masse est toujours cristallisable, même en l'absence d'un stimulant. Pour cristalliser, l'hydrate de chaux amorphe, qui doit être considéré comme la cause de l'expansion par la chaux a besoin d'un stimulant; cette substance ne se forme qu'à un stade tardif de l'hydratation des ciments qui contiennent de la chaux libre. À ce stade, le gypse présent n'exerce plus aucune action en tant que stimulant de la cristallisation.

(7) Le processus du durcissement du ciment Portland repose sur une harmonie parfaite entre les manifestations de la silice colloïdale et l'hydrate de chaux cristallin; ce dernier forme l'élément le plus développé et le plus important du ciment Portland durci. L'hydrate de chaux est à la base des propriétés agglomérantes du ciment; c'est le véhicule du durcissement.

(8) L'exposé décrit une méthode d'observation microscopique, permettant de suivre et de vérifier les phénomènes décrits plus haut, qui se déroulent pendant le durcissement du ciment Portland gâché avec la quantité normale d'eau.

(9) L'expansion par le plâtre est due au volume excessif occupé par les cristaux d'hydrate de chaux, cas qui correspond à une insuffisance pour les gelées de silice. Il est par contre possible de rendre stable de volume un ciment expansif par la chaux en lui incorporant du gypse, qui transforme l'hydrate de chaux amorphe, à mesure de sa formation, en hydrate cristallin. En pratique, cet artifice ne peut jouer que dans des limites restreintes, sinon on obtiendrait de l'hydrate de chaux cristallin en quantité surabondante.

Etude comparative de l'industrie du ciment Portland aux Etats-Unis, au Canada, et en Angleterre. — VIII.

Par HAL GUTTERIDGE.

♥
Captation des poussières.—Dans les cimenteries, les principales opérations, auxquelles les installations de captation des poussières peuvent généralement s'appliquer avec avantage, sont le concassage, le séchage, le broyage des matières premières, la pulvérisation du charbon, la mouture du clinker, et l'emballage du ciment. Le dépoussiérage des fumées implique des conditions spéciales, qui seront exposées plus loin. Les méthodes de captation des poussières peuvent se classer sous les rubriques suivantes : centrifugation ; filtres ; gravité ; électricité ; tourbillons centripètes ; cyclones ; tamis ; tissus filtrants, etc. ; chambres à poussières, précipitation.

Séparateurs centrifuges.—Parmi les divers types de séparateurs centrifuges, celui dont l'emploi est le plus général est le cyclone, dans lequel la séparation s'effectue par l'expulsion tangentielle des particules de poussières hors du flux gazeux, par l'action de la force centrifuge. Comme le travail d'un séparateur cyclone est proportionnel au carré de la vitesse tangentielle, et inversement proportionnel au rayon, il s'ensuit que, pour un rayon donné, le travail augmente avec la vitesse des gaz à l'entrée, et que pour une vitesse donnée du gaz à l'entrée, le travail diminue à mesure que le rayon augmente.

Des considérations pratiques, basées sur l'énergie mise en œuvre pour l'obtenir, limitent la vitesse des gaz à l'entrée ; d'autre part, le séparateur doit être dimensionné en proportion du volume de gaz qu'il est appelé à épurer. On adopte dans chaque cas la solution moyenne qui convient le mieux.

Séparateurs à filtres.—Lorsque l'on fait passer directement les gaz véhiculant les poussières par un organe filtrant, le séparateur devient un appareil de captation du type à filtres. L'organe filtrant est généralement du tissu, et ce moyen s'applique aux gaz contenant peu d'humidité, et d'une température peu élevée. Pour que le système n'occasionne pas une chute de pression trop forte, il convient de remettre régulièrement en état l'organe filtrant, soit en renversant la direction du flux, soit en ébranlant le tissu.

Séparateurs par gravité.—Ces séparateurs ont généralement la forme de chambres à poussières ou de dépôt ; de telles chambres occupent une surface considérable, leur encombrement est très grand par unité de volume de gaz traité, et ils travaillent avec un faible rendement. Pour que la captation se fasse dans de bonnes conditions, il faut que la vitesse des gaz soit ramenée à environ 30 m par minute, et, en raison du volume des gaz, cette faible vitesse nécessite une très grande section d'écoulement, car la vitesse des gaz à l'entrée est d'environ 300 m à la minute.

Equipements de précipitation électrique et séparateurs à tourbillons centripètes.—Les séparateurs seront étudiés en détail plus loin sous le titre "dépoussiérage des fumées" ; outre l'extraction des poussières des gaz brûlés, ces séparateurs servent également pour capter les poussières à la sortie des séchoirs pour matières dures.

Il existe une gamme étendue d'équipements de ce genre, et, avant d'opter pour l'un d'entre eux, il y a lieu de se livrer à des investigations étendues, et d'étudier avec soin les données ainsi recueillies. La détermination du type d'équipement le plus approprié, et de ses dimensions, dépend dans chaque cas de certaines conditions fondamentales dont les plus importantes sont : (1) les

caractéristiques des poussières, c'est-à-dire leur forme, leur finesse et leur densité; (2) le volume et la température des gaz; (3) la teneur des gaz en poussières; (4) l'humidité relative des gaz; et (5) la composition chimique des gaz.

Considérons par exemple les séchoirs rotatifs traitant les matières crues; les roches peuvent avoir, soit une faible, soit une forte teneur en eau. Les roches en cours de séchage peuvent avoir, soit une texture cristalline fine, soit une texture en forme d'écailles plates. Au séchage, suivant les conditions, dans un cas la plus grande partie de la chaleur se trouve utilisée, et dans un autre les gaz s'échappent à température élevée. La texture de la roche a donc pour effet que, dans un cas, les gaz véhiculent une faible proportion de poussières, dans un autre cas, cette proportion est élevée. Il s'ensuit qu'une installation qui donne des résultats satisfaisants dans un cas, en donnerait de mauvais dans un autre.

Mentionnons une usine de Pensylvanie, où une installation de six dépoussiéreurs " Vorticose " (de la Dust Recovery Inc.) travaille conjointement avec les séchoirs à matières dures. Chaque dépoussiéreur traite approximativement 335 m³ de gaz à la minute, et capte 450 kg de poussières par heure. Le rendement moyen est, paraît-il, de 94%; l'analyse granulométrique donne un refus de 1% au tamis de 1600 mailles au centimètre carré; les fractions acceptées donnent successivement des refus de 1.5% au tamis de 6400 mailles, et de 3.5% au tamis de 14000 mailles; le refus au tamis de 14000 mailles est de 94%.

Dans une autre usine, au Kansas, où la roche est séchée par les gaz brûlés des chaudières, l'extinction des poussières est opérée en deux fois, sur 560 m³ de gaz à la minute; à la sortie du séchoir, les gaz circulent dans un séparateur à air sous l'action d'un ventilateur déprimogène; les poussières grossières se déposent, et les gaz traversent un appareil de captation, qui extrait les poussières fines; par cette double épuration, on récupère les poussières dans une proportion très élevée. Cette installation a été faite par la Clark Dust Collecting Co.; la figure 1 (page 1129) est la vue d'une autre installation du même constructeur, capable d'épurer à la minute de 1700 à 2000 m³ de gaz chargé de poussières.

En Angleterre, il n'existe pas d'usines appliquant le procédé sec, et on emploie par suite, ni séchoirs à matières dures, ni équipements de captation de poussières à leur suite. Ainsi que leur titre l'indique, ces articles sont exclusivement consacrés au matériel effectivement utilisé dans les trois pays considérés, et l'on n'a par suite pas pris en compte le matériel fabriqué en Angleterre pour l'étranger.

La figure 2 (page 1130) représente le système de la Visco Engineering Co., appliqué à la captation des poussières à la sortie des broyeurs pour clinker. L'appareil de captation est du type à succion, et il ne circule dans le ventilateur principal que de l'air épuré; l'appareil consiste en une enveloppe en tôle, divisée en compartiments, dont chacun comporte des tubes filtrants en matière spéciale pour la retenue des poussières impalpables. A intervalles prédéterminés, et à tour de rôle, chaque compartiment est isolé des compartiments voisins par son registre principal, à fermeture mécanique; après quoi, les tubes du compartiment mis hors circuit sont ébranlés mécaniquement. Un ventilateur spécial force un courant d'air à passer par les interstices de la substance filtrante, en sens contraire du courant d'air correspondant aux conditions du travail normal. Les poussières ainsi récupérées tombent dans une trémie, d'où elles sont extraites par une vis.

L'installation de captation des poussières, exécutée en Angleterre par la Sturtevant Engineering Co., et représentée figure 3 (page 1132), traite à l'heure

environ 6000 m³ d'air, à la sortie des broyeurs à clinker. L'air contient en moyenne 10 gr de poussières par mètre cube; il est aspiré d'abord à travers un cyclone, d'où il se rend dans un filtre automatique, ces deux appareils fonctionnant par dépression. Automatiquement, à intervalles fréquents et à tour de rôle, chaque section est mise hors circuit par la fermeture de son registre de sortie; elle est alors mise en communication avec l'atmosphère, ce qui fait passer par les sacs un courant d'air inversé, tandis qu'ils sont ébranlés mécaniquement.

La quantité de poussières produites dépend des matières premières et du procédé employé. Lors de l'abattage à la poudre et du concassage de certaines roches, comme, par exemple, de la " roche à ciment," il se produit lors de ces opérations des quantités appréciables de poussières; la craie et la marne, par contre, ne produisent pratiquement aucune poussière au moment de leur préparation mécanique.

Dans une usine de Pennsylvanie, utilisant la roche à ciment, pour réduire les pertes de matières sous forme de poussières auxquelles donnent lieu l'extraction en carrière pendant les mois d'été, on a adopté une méthode qui consiste à employer un tuyau d'arrosage souple pour abattre les poussières. On estime que l'économie de matières réalisée est d'au moins 2%, et lorsqu'ils opèrent sur des matières dont la chute a été ainsi amortie, les broyeurs à marteaux produisent une quantité plus faible de poussières. Citons, à titre d'exemple, une usine, moderne sauf en ce point, et exploitée d'une manière économique, où l'atelier de concassage était envahi de poussières à un tel point qu'il n'était pas possible d'apercevoir l'extrémité opposée du bâtiment, dont la longueur n'excédait pas 10 m. La proportion des poussières était si grande qu'à l'entrée on était saisi par une toux qui empêchait de continuer; l'atelier travaillait par suite dans de mauvaises conditions, et d'une manière peu économique.

Dans un atelier de concassage, la méthode de captation des poussières réellement efficace consiste à installer un équipement central d'extraction des poussières, qui parte de tous les points susceptibles d'en répandre dans l'atmosphère; au broyeur giratoire, de même qu'au séparateur à matières premières et au broyeur secondaire, l'extraction des poussières se fait au point de décharge. Avec certaines matières fournissant des poussières particulièrement denses, on prévoit également des points d'extraction aux élévateurs. Dans certains cas, et à intervalles réguliers, on décharge les poussières sur le convoyeur qui aboutit au magasin à calcaire concassé; dans d'autres, on l'envoie directement au broyeur. La première solution convient généralement avec le procédé humide, et la seconde avec le procédé sec, car, en court-circuitant ainsi les séchoirs, on supprime les frais afférents à une nouvelle captation de ces poussières à la sortie de ces appareils, ainsi que la dépense de chaleur que leur passage au séchoir occasionnerait inutilement.

Dans l'Ohio, ainsi que dans une usine de l'Etat de New-York, pour la mouture du clinker, on a appliqué un autre système de captation des poussières, dit système " Sly." Avec ce système, non seulement l'atelier de mouture du clinker reste dépourvu de poussières, mais encore le ciment, qui sort du broyeur à une température de 150°, est ramené à 100°. A la sortie des broyeurs, le ciment tombe dans une chute verticale, comportant des orifices latéraux pour les rentrées d'air. Un ventilateur, branché sur ce dispositif, aspire par ces orifices de l'air froid, qui circule à contre courant avec le ciment, et la fraction du ciment ainsi emportée se dépose dans un collecteur à poussières, d'où elle rejoint la fraction principale du ciment, à laquelle elle se mélange parfaitement sous l'action des vis transporteuses.

Dans une usine anglaise, le ciment est transporté en vrac sur une distance

d'environ 350 m par un convoyeur à tablier, et, pour le refroidir, on a disposé à intervalles rapprochés des sortes de petits socs fixes, qui retournent continuellement le ciment, et en portent les parties les plus chaudes au contact de l'atmosphère. Les figures 4 et 5 (pages 1133 et 1134) sont des exemples d'installations d'ateliers de mouture, fonctionnant aux États-Unis et en Angleterre. La figure 4 représente quatre broyeurs compound, avec leurs commandes électriques, système Allis-Chalmers, installés dans l'Alabama (E.-U.). Les broyeurs ont 2 m 50 et 2 m 10 de diamètre, par 12 m 20 de longueur, et sont actionnés chacun par un moteur synchrone de 800 ch, avec embrayage magnétique et roue droite formant ceinture. La figure 5 représente les mécanismes de conduite de quatre broyeurs compound de 2 m 20 de diamètre et 11 m de longueur, installés en Angleterre; les quatre moteurs Crompton-Parkinson actionnent directement le tourillon du broyeur, par des engrenages montés dans un carter étanche. Ces photographies sont caractéristiques, à de nombreux points de vue, des divergences que présentent la pratique américaine et la pratique anglaise; aux États-Unis, on voit couramment la commande électrique montée dans le même local que le broyeur, alors qu'en Angleterre l'équipement électrique est généralement séparé des broyeurs par une cloison, étanche à la poussière. Cette dernière disposition présente de nombreux avantages, car l'équipement électrique fonctionne ainsi dans des conditions idéales, ce qui est dû, non seulement à l'absence de poussières de broyage, mais aussi à la température constante qui favorise la bonne marche du mécanisme. Le local est généralement hermétiquement fermé à la poussière, et complété par une installation pour l'épuration de l'air admis.

Une autre divergence entre la pratique dans les deux pays est l'emploi, dans les cimenteries américaines, d'embrayages magnétiques pour actionner les broyeurs. L'embrayage magnétique (dont il a été précédemment question dans notre article sur le "Broyage"), fournit un contrôle complémentaire de la marche du broyeur, par suite de la progressivité de l'entraînement et de l'instantanéité du débrayage entre le moteur et l'appareil actionné. En Angleterre, on emploie les embrayages magnétiques dans d'autres industries, particulièrement dans celle du caoutchouc, où il importe d'arrêter instantanément les cylindres. Ce résultat est obtenu au moyen de boutons-poussoirs, et du freinage automatique; lorsque l'on dispose d'un embrayage magnétique, on peut employer dans ce but un mécanisme à déclenchement, qui coupe le circuit de l'embrayage tout en actionnant le frein, ce qui fait que le frein n'a pas à absorber la force vive de l'armature du moteur. Les deux vues photographiques font ressortir une autre différence caractéristique; dans l'une, on a opté pour la conduite par le tourillon central, et dans l'autre, pour la commande par roue formant ceinture (ces deux dispositifs ont été étudiés dans l'article sur le "Broyage" où l'on a montré les avantages de la commande par le tourillon, en faveur en Angleterre, sur la commande par roue formant ceinture, d'un emploi très général aux États-Unis).

Dépoussiérage des fumées.—Lorsque les circonstances imposent l'installation d'un équipement de dépoussiérage des fumées, la valeur des poussières récupérées est un facteur important à porter au crédit de l'installation de captation. Le nombre d'équipements de précipitation électrique ou mécanique qui ont été installés aux États-Unis, en vue du dépoussiérage des fumées, est d'environ vingt-deux; au Canada, une importante cimenterie fait actuellement installer un équipement de dépoussiérage mécanique des fumées, et il est intéressant de noter que cette usine, située au centre d'une banlieue réservée aux habitations privées, se transforme actuellement pour passer du procédé sec au procédé humide, en vue d'obtenir une diminution complémentaire des poussières.

En Angleterre, principalement du fait que toutes les usines appliquent le procédé humide, et qu'en général les fours sont plus longs que les fours américains, on n'emploie pas de dépoussiéreurs des fumées, ni électriques, ni mécaniques.

Aux Etats-Unis, il existe actuellement en fonctionnement 18 installations de précipitation électrique, système Lodge-Cottrell, appliquées à l'épuration des fumées; ces équipements consistent en un certain nombre de groupes d'électrodes de signe contraire; les électrodes de décharge, formant l'un des groupes, ayant la forme voulue pour faciliter la décharge par effet corona, et les électrodes collectrices formant le deuxième groupe, profilées de manière à réduire cette même décharge au minimum, ou même à s'y opposer. Le système des électrodes de décharge, monté sur isolateurs, est généralement chargé négativement par rapport à la terre, et le système des électrodes collectrices est mis électriquement à la terre. La différence de potentiel appliquée aux électrodes dépend de leur écartement, et d'autres conditions, mais, dans le cas des cimenteries, elle est généralement de 50000 volts; le courant continu est fourni par un redresseur, alimenté en courant alternatif à haute tension. A mesure que les gaz véhiculant les poussières passent entre les électrodes, les particules reçoivent une charge, et s'échappent des gaz pour se précipiter sur les électrodes, où elles sont captées, pour tomber ensuite sous l'action de marteaux frappeurs dans des trémies placées sous le système des électrodes; ainsi récupérées, les poussières sont réenfournées. On actionne généralement les dispositifs de secouage des électrodes une fois par équipe. Pour récupérer les poussières des fours rotatifs, on a trouvé qu'il est souvent préférable de remplacer les électrodes métalliques par des électrodes faites en ciment Portland spécialement préparé, avec des barres métalliques de petit diamètre noyées à l'intérieur, que l'on met à la terre; ces électrodes doivent être ainsi disposées, que la résistance soit maximum lorsque la décharge a le trajet minimum dans l'air, et minimum lorsque la décharge a le trajet maximum dans l'air. Ces électrodes sont plates, et mesurent 2 m de largeur, 5 cm d'épaisseur, et 3 m 75 de hauteur. La propriété de ces électrodes dites à "résistance progressive," est due à leur résistance propre qui s'oppose à la localisation de la décharge par effet Corona. La décharge, au lieu d'être normale, se disperse et intéresse une partie plus grande du champ électrique; la capacité d'épuration de l'installation par unité de volume s'en trouve augmentée, et ses dimensions seraient diminuées pour traiter une même quantité de gaz. Les poussières peuvent s'accumuler sur les électrodes en plus grande quantité sans nuire au rendement, ce qui diminue les frais de main d'œuvre; du fait que la décharge ne peut se localiser, la dépense d'énergie est moindre. Avec ces électrodes à "résistance progressive," pour le traitement de 2800 m³ de gaz à la minute avec un rendement de 90%, l'encombrement est, paraît-il, de 1000 cm³, la puissance absorbée de 10 kW, et la main d'œuvre correspond à 12 heures de travail par jour.

La quantité de poussières qui s'échappe d'un four dépend dans une large mesure de la longueur de ce dernier; plus le four est long, moins il y a de poussières, et réciproquement. Une usine de Pensylvanie appliquant le procédé sec pour 8 chaudières à flammes perdues, et d'une capacité de 7800 barils par jour (1 baril=163 kg) comporte neuf fours de 41 m de longueur, travaillant suivant le procédé sec; ces deux conditions réunies portent au maximum la teneur des flammes en poussières, pour la captation desquelles a été installé un équipement de précipitation Cottrell. La capacité de cette installation, comportant six groupes d'appareils, est de 11000 m³ à la minute. Les électrodes collectrices sont des panneaux de béton, et le courant électrique, fourni à 440

volts, est survolté à 50000 volts, et redressé. Cet équipement de précipitation travaille en conjonction avec une batterie de chaudières à flammes perdues, et reçoit le gaz à 200°. A la même usine se trouve un autre équipement Cottrell, pour épurer la fraction des gaz qui, à la sortie des fours, sont utilisés au séchage des matières premières et pour capter les poussières provenant de leur préparation mécaniques. Cette installation, dont la capacité est de 2000 m³ de gaz à la minute, comprend trois groupes d'appareils; le courant de 440 volts est également survolté à 50000 volts et est redressé.

La figure 6 (page 1136) représente la plate-forme de manœuvre de l'installation Cottrell, d'une cimenterie de l'Ohio, appliquant le procédé humide avec quatre chaudières à chaleurs perdues; l'installation comprend quatre appareils de précipitation, chaque appareil comportant deux sections en largeur et chaque section comportant deux équipements en longueur. Les équipements consistent en électrodes à résistance progressive, de 3 m 75 de hauteur et de 2 m de longueur, les électrodes se faisant face à l'écartement de 15 cm, avec des électrodes émettrices verticales placées entre elles; dans chaque section de l'appareil, il y a 13 passages entre les électrodes. Chaque appareil double est alimenté par un groupe électrique spécial, un cinquième groupe étant en réserve. L'installation a une capacité de traitement de 10000 m³ de gaz à la minute, à une température voisine de 200°, et capte environ 90 tonnes de poussières par jour, avec un rendement dépassant 95%. L'énergie absorbée est approximativement de 20 kW, et le personnel est de un homme par équipe.

Une usine canadienne fait actuellement installer un équipement mécanique de captation des poussières, dit "Vorticose," construit par la Dust Recovery Inc., dont la figure 7 (page 1137) donne une vue photographique, prise à un stade avancé du montage. Cette installation comporte deux appareils de captation, desservant sept fours; elle est prévue pour traiter 8000 m³ de gaz à la minute, et fonctionnera au tirage naturel. D'après la description que l'on en donne, ce système de captation serait basé sur le principe des "tourbillons centripètes," et fonctionnerait dans les conditions qui se présentent dans les trombes, où toutes les particules de poussières sont projetées dans une colonne tourbillonnaire centrale, et ne se dispersent que par la rupture de cette même colonne. Le dispositif de captation comporte un certain nombre d'éléments collecteurs standard fixes de 50 x 30 cm; les gaz s'y engouffrent de manière à arriver aux éléments collecteurs en formant un "V" renversé. Le long des cotés du V se trouvent des orifices, avec des chicanes ainsi disposées que la majeure partie des gaz les traversent, mais avec un changement brusque de direction. L'autre partie des gaz, ainsi que les particules de poussières, qui, en raison de leur force vive, ne changent pas de direction aussi facilement, poursuivent leur chemin en direction ascendante, en ralentissant progressivement leur vitesse jusque à arriver au sommet du V, où l'air se trouve relativement à l'état de repos et où les poussières se précipitent; les poussières retombent dans les trémies. Un mécanisme d'ébranlement est prévu pour accélérer la tombée des poussières adhérant aux diverses surfaces. A la suite des premiers éléments, les gaz passent par un certain nombre d'éléments collecteurs analogues, montés en série, le nombre des éléments étant fonction des conditions qui régissent chaque cas particulier. Aucune pièce n'est mobile, sauf les organes d'ébranlement, qui se trouvent en dehors de l'appareil.

Dans une usine de l'Alabama, on a installé deux fours avec refroidisseur combiné, de 3 m 40 et 3 m de diamètre, et 105 m de longueur; les refroidisseurs "Unax" sont du type à double cylindre; le tambour cuiseur étant entouré d'une double ceinture, et le clinker, après avoir traversé le tube intérieur, suit le tube extérieur dans sa longueur. Les gaz brûlés sont d'abord dirigés vers le bas

sur une chambre en tôle, où les poussières se déposent et reprennent en direction ascendante un carneau qui aboutit à la cheminée. Les poussières sont extraites des trémies placées en contre-bas au moyen de vis, et retournées sur l'arrivée des matières, auxquelles elles se mélangent juste à l'entrée du four. Outre son refroidisseur intégral en deux étages, l'installation est caractérisée par le contrôle de la température des gaz brûlés, pour la traversée des ventilateurs de tirage induit. Les ventilateurs ne pourraient résister à une température supérieure à 370°, et, pour que cette température ne puisse être dépassée, on a prévu des registres pour l'admission d'air frais. Cet équipement entièrement automatique, étudié par F. L. Smidth & Co., consiste en thermomètres, qui actionnent des contacts électriques, dès que la température des gaz atteint les limites supérieure ou inférieure données. Les contacts font fonctionner des relais qui commandent des robinets à trois voies actionnés par solénoïdes, qui provoquent l'arrivée de l'eau au dessus ou au dessous d'un piston hydraulique, solidaire du registre. Sur le tableau de contrôle de la plate-forme du cuiseur se trouvent des lampes, qui indiquent le bon fonctionnement du dispositif.

Dans une cimenterie de Pennsylvanie, dont l'installation a été étudiée en Angleterre, nous trouvons un autre exemple d'équipement de captation de poussières, pour l'épuration des gaz brûlés. Cet équipement de captation des poussières applique les brevets de MM. Davidson & Co., Ltd., de Belfast, et a été installé par l'American Blower Co.; il fonctionne exactement comme un cyclone, au fond duquel tombent les poussières provenant des gaz, d'où elles sont extraites pour être réincorporées à la boue. Le four a 3 m 50 de diamètre et 78 m de longueur, avec une zone élargie à 4 m 50; cette zone de 4 m 50 a 12 m 75 de longueur, et commence à 11 m 25 de l'extrémité, coté brûleur. La section élargie correspond à la zone de scorification, et a pour objet d'améliorer cette dernière, tout en donnant un produit de qualité plus régulière qu'il ne serait possible avec un four de diamètre uniforme. Le four ne comporte pas de chaudière à chaleurs perdues, et l'équipement de captation des poussières est directement branché sur le ventilateur placé à la suite du four; ce ventilateur a une capacité de débit de 3800 m³ à la minute, à 370°.

(A suivre)

Les nouvelles normes roumaines.

Le Bureau de Normalisation du Ministère du Commerce et de l'Industrie, de Roumanie, a publié récemment de nouvelles Normes, applicables aux fournitures de ciment Portland et de ciment à haute résistance; dans leurs parties essentielles, ces Normes sont basées sur celles adoptées en Allemagne (voir CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, 1930, No. 12, p. 1655). Les spécifications roumaines diffèrent des Normes allemandes en ce qui suit :

	Ciment Portland	Ciment à haute résistance
POIDS AU LITRE.		
Non secoué	980-1200 gr ..	980-1200 gr
Tassé par secousses ...	1600-1800 gr ...	1600-2000 gr

INVARIABILITÉ DE VOLUME.—Il est prescrit de faire l'épreuve au four et l'épreuve d'ébullition.

FINESSE.—Le refus sur tamis de 4900 mailles ne doit pas dépasser 18%.

RÉSISTANCE.—Il est spécifié de faire pour le ciment Portland à haute résistance un essai complémentaire à sept jours, qui devra donner les résistances minimum suivantes :

Traction	(mortier 1:3) 35 Kg/cm ²
Compression	(mortier 1:3) 300 Kg/cm ²

Les cimenteries de la Compagnie Wicking.*

Usine Zollern, au Nouveau Beckum.—Les matières premières de cette usine sont la pierre calcaire et la marne, dont l'extraction en carrière est faite à la main. Les blocs de roche sont transportés à l'usine sur une voie étroite; la fabrication s'opère suivant le procédé sec. Les blocs sont fragmentés dans deux concasseurs, les matières sont séchées dans deux séchoirs rotatifs, et écrasées dans un appareil combiné, tenant du tube broyeur et du broyeur à boulets, ou dans un broyeur compound. Pour les fours verticaux, la matière première est briquetée dans 4 presses Polysius. L'usine est équipée de trois fours rotatifs, d'un four annulaire, et de quatre fours verticaux. De même que les matières premières, le clinker est moulu, pour une partie dans un appareil combiné, formant à la fois tube broyeur et broyeur à boulets, et pour le reste dans un broyeur compound. La contenance du magasin à clinker est de 6000 tonnes, et celle des silos à ciment de 4500 tonnes.

Usine No. 3, à Lengerich.—Les matières premières sont extraites des pentes ouest des monts, dits Teutoburger Wald; elles appartiennent à la formation supracrétacée, et consistent en roches calcaires impures (plaener), et en marne, que l'on abat à la poudre; après fragmentation, elles sont amenées à l'usine par une locomotive. Le travail en carrière se fait par terrasses. La totalité de l'énergie est fournie par le réseau électrique à 30 000 volts; à l'usine, le courant est abaissé à 500 volts. La fabrication se fait suivant le procédé humide, et la boue est préparée à l'aide de broyeurs à deux cylindres et de deux broyeurs humides; la boue est ensuite refoulée par pompage dans des bassins mélangeurs en béton, où l'agitation se fait à l'air comprimé. Les fours rotatifs installés sont des systèmes Krupp et Humboldt. Le clinker est transporté au magasin par un convoyeur incliné, et moulu dans des broyeurs compound, chargés de boulets en acier. Le ciment est conservé dans des silos en béton armé, équipés d'ensacheuses.

Usine Klasberg, à Beckum.—La pierre calcaire et la marne sont extraites au moyen d'excavateurs automatiques, et halées à l'usine par locomotive. L'énergie est fournie par des chaudières à tubes de fumée à surchauffeurs, et par des machines à vapeur compound à condensation; l'usine est raccordée au réseau électrique à haute tension. Les fours travaillent suivant le procédé sec. Les séchoirs rotatifs fonctionnent suivant le principe du contre-courant. Le concassage préparatoire est exécuté au moyen de concasseurs à mâchoires et de concasseurs "Titan"; le broyage de finissage se fait dans des broyeurs compound. La poudre crue est conservée dans des silos compartimentés, en béton armé; elle est humidifiée dans les vis transporteuses qui alimentent les presses à plateau tournant, où se fait le briquetage. La cuisson est opérée dans des fours verticaux automatiques Gruber, à grille tournante. Le clinker est moulu dans des broyeurs compound, et le ciment est conservé dans des silos cellulaires en béton armé, à vidange automatique.

En 1929, la Compagnie Wicking a absorbé d'autres usines, précédemment indépendantes. Pour la plupart d'entre elles, le prorata qui leur avait été réservé dans la production du cartel a été repris par les anciennes usines, et les usines nouvellement absorbées n'ont conservé de leur activité que la fabrication de la chaux; elles ont toutefois reçu de la Compagnie Wicking une compensation, pour la production de ciment qui leur a été retirée.

En plus des laboratoires particuliers de chaque usine, une station privée de

* La première part de cet article a paru dans le numéro de Septembre, 1931.

recherches, dont le directeur était le Dr. K. Biehl, a fonctionné il y a quelques années aux frais de cet important consortium, ayant à sa tête le Dr. ten Hompel. Presque toutes les usines Wicking sont d'anciennes usines à chaux, et la plupart d'entre elles, en plus du ciment Portland, produisent encore du plâtre et de la chaux hydraulique. Tout récemment, plusieurs de ces usines se sont mises à fabriquer des ciments à haute résistance, et à durcissement rapide.

Filtres à air.

La figure 1 (page 1139) est la vue, prise dans une usine allemande, d'un filtre à air "Intensiv," fonctionnant conjointement avec cinq tubes broyeurs; ce filtre ne comporte pas de refroidissement par eau, mais utilise le courant d'air de tirage induit, créé par le ventilateur du filtre. Ce dispositif augmente, dit-on, la capacité de l'installation d'environ 10%, parce que le courant d'air emporte les très fines particules jusqu'au filtre, les particules plus grosses continuant seules à subir le travail de mouture. La poussière ainsi captée est acheminée automatiquement et de manière continue sur la vis transporteuse qui fait suite au broyeur, où elle s'incorpore à la masse broyée.

La figure 2 (page 1139) représente un filtre, installé dans la même usine pour capter le poussier émis par l'équipement de pulvérisation du charbon. La figure 3 (page 1140) est un autre filtre du même constructeur, destiné à capter les poussières du broyeur à ciment d'une usine où il est fabriqué du ciment Portland de fer; dans cette usine, il existe des connexions, reliant toute la machinerie émettrice de poussières, four compris, à un filtre de ce modèle. Après douze mois de fonctionnement, sans qu'il y ait eu interruption de marche quelquefois pendant plusieurs semaines de suite, aucune des manches du filtre, qui sont en laine d'Ecosse de première qualité, n'a présenté, paraît-il, aucun signe d'usure ni de détérioration. Les gaz sortent du four à la température de 350°, et contiennent du soufre et des cendres provenant du charbon, des poussières de ciment, de l'humidité, toutes conditions susceptibles d'endommager les manches, si les gaz étaient acheminés tels quels sur le filtre.

L'usine fonctionne sur le principe de la succion; le ventilateur, placé entre la cheminée et le filtre, force par aspiration les gaz chauds du four à passer par deux refroidisseurs Ljungström, de grand diamètre. Ces refroidisseurs tournent lentement dans le plan horizontal, leur température augmente de 200 à 230°. et les gaz arrivent à 100 ou 120° au filtre, qu'ils traversent à cette température, pour se répandre dans l'atmosphère en passant par la cheminée. Les poussières contenues dans les gaz sont retenues dans les manches; elles sont évacuées automatiquement du filtre, et acheminées sur leur destination au moyen d'une vis transporteuse. Les refroidisseurs sont traversés par une circulation d'air à 15°, due à de petits ventilateurs placés tout à côté; l'air, après avoir abaissé leur température de 200° environ, est acheminé par une tuyauterie sur les tambours sécheurs, où il est utilisé pour sécher les matières premières du ciment avant leur enfournement dans le four rotatif. On obtient une économie de combustible, tout en captant les poussières.

Ces filtres sont la spécialité de la Intensiv Filter Co., de Langenberg (Rhénanie), qui en ont installé plusieurs centaines dans les cimenteries de l'Europe continentale; quelques filtres fonctionnent également en Angleterre, pour capter les poussières des ensacheuses, celles des silos alimentés par un système pneumatique, les poussières de zinc, etc.



Beitrag zum Erhärtungsproblem des Portlandzementes.

von OBERINGENIEUR FRIEDRICH F. TIPPMANN.

DIE bestehenden Theorien zur Erklärung des Erhärtungsvorganges des Portlandzementes lassen sich in folgende 3 Gruppen zusammenfassen:

1. Die Kristallisations-Theorie, vertreten von Le Chatelier und Anderen,
2. Die Kolloid-(Gel-)Theorie von Michaelis, deren heutige Hauptvertreter im erweiterten Sinne Prof. Dr. Kühl, P. H. Bates, A. Hauenschild und andere, sind,
3. Die Kristalloid-Kolloid-Theorie, welche von Keisermann, Blumenthal, Scheidler, neuerdings von Dr. Biehl, Dr. H. W. Gonell und anderen verfochten wird.

Bezeichnend für alle diese Theorien ist, dass dem bei der Hydratation des Zements frei werdenden Kalkhydrat sehr wenig Beachtung geschenkt wird. Man betrachtet es stets als unwesentliche, unter Umständen sogar schädliche Begleiterscheinung und spricht ihm eine bestimmte Rolle bei der Erhärtung ab. Über die Menge des tatsächlich frei werdenden Kalkhydrates sind die Ansichten auch sehr verschieden.

Es würde zu weit führen, auf eine Besprechung der genannten Theorien einzugehen, dies ist ja bereits oft und ausführlich in dieser Zeitschrift geschehen, und will mich lediglich auf eine kritische Behandlung der Ansichten Prof. Dr. Kühl's im Zusammenhang mit den Resultaten meiner Forschungen, welche ich als Fortsetzung meiner vor etwa einem Jahrzehnt begonnenen Arbeiten vor knapp zwei Jahren über das Erhärtungsproblem ausführte, beschränken.

Bekanntlich ist Prof. Dr. Kühl der eifrigste Anhänger der Gel-Theorie, welche er von Michaelis übernommen und weiter ausgebaut hat. Seine Ansichten über das Erhärtungsproblem hat er zuletzt und sehr klar in seinem vierten Beitrage über: „Das Erhärtungsproblem in seiner Bedeutung für die Zementforschung," welchen er in No. 1 dieser Zeitschrift d.J., veröffentlichte, zusammengefasst.

Seine frühere Ansicht: „dass auch bester, volumbeständiger Portlandzement bei der Hydratation beträchtliche Mengen von Kalkhydrat abspaltet, welche im erhärteten Mörtel unter dem Mikroskop mit Leichtigkeit in Gestalt sechseitiger Tafeln beobachtet werden können“¹—scheint er im Laufe der Jahre wieder aufgegeben zu haben, denn in seinem erwähnten Vortrag führte er unter anderem aus, dass er sich durch viele Jahre erfolglos bemüht hat im Dünnschliff von abgebindenem Zement die Platten, die Nadeln und die Gelmassen zu finden, die man aus Zement und viel Wasser präparativ so schön herstellen kann, und nur ganz ausnahmsweise konnte er manchmal ein Täfelchen von Kalkhydrat beobachten; er nimmt deshalb an, dass die neugebildeten Partikelchen in einer Kittmasse eingebettet sind und zum weitaus grössten Teil unterhalb der mikroskopischen Sichtbarkeitsgrenze liegen. Kristalline Bildungen lässt er nur im alten erhärteten Mörtel gelten und führt deren Bildung auf eine Umwandlung der kolloidalen Kittmasse in den kristallinen Zustand, also auf ein Altern des Systems zurück. Nach Kühl ist ferner die Hydrolyse bei Anwendung normaler Wassermengen keine vollständige, sie führt also in diesem Fall nicht bis zur vollständigen Aufspaltung des Kalkes, der Kieselsäure und Tonerde bis zu den freien Hydroxyden derselben und deshalb können sich jene Kristalle nicht bilden, welche man bei Anwesenheit von viel Wasser beobachten kann.

Grundsätzlich steht Kühl auf dem Boden der sogenannten Geltheorie von Michaelis und glaubt, dass das Erhärten durch die Schrumpfung einer Gelmasse zustande kommt, wenn auch gewisse Ansätze für das Zustandekommen von Kristallisationsprozessen vorhanden sind; solche Kristallisationsprozesse können aber für das Grundproblem nicht in Betracht kommen, denn sonst müssten im mikroskopischen Bilde erhärteter Zemente die Ergebnisse der Kristallisationsprozesse in Gestalt irgend welcher Nadeln und Plättchen zu entdecken sein. Nach Abwicklung der Bildungsprozesse bei der Hydratation verbleibt nach Kühl auf jeden Fall ein gewisser Kalkrest, der im erhärteten Zement frei vorhanden ist; ob sich diese Kalkhydratmengen in kolloider oder kristalliner Form ausscheiden, ist bisher nicht bekannt, doch nimmt Kühl an, dass die Hauptmenge oder doch wenigstens ein Teil des Kalkhydrates zunächst in amorpher oder kolloider Form auftritt, da andernfalls Kristallbildung auch im frischen Mörtel unter dem Polarisationsmikroskop zu beobachten sein müsste.

Das einzige kristalline Hydratationsprodukt, das Kühl im erhärteten Zementmörtel mit Sicherheit annimmt, wenn er es auch nicht gefunden hat in Dünnschliffen, ist das Kalziumsulfoaluminat; er meint, dass diese Annahme kaum einen Widerspruch gegen seine Beobachtung bedeutet, dass der erhärtete Zementmörtel ganz überwiegend aus amorpher Gelmasse besteht, wenn man annimmt, dass in diese Gelmasse die geringen Mengen der feinen Nadeln des kristallinen Sulfoaluminates eingebettet sind.²

Die Forschungsmethode mit viel überschüssigem Wasser, wie sie hauptsächlich von Blumenthal, Keisermann, Scheidler und anderen angewendet wurde, verwirft Prof. Kühl³ mit Recht, weil sie der Praxis keine Rechnung trägt. Aber auch die Methode von Pulfrich und Linck,⁴ die das Wasser sukzessive durch Glyzerin ersetzen, ist wenig stichhältig, weil—wie

¹ Vortrag, gehalten auf der Versammlung des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten, am 2 März, 1912.

² CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, 4, 14, 1931.

³ Zement, 13, 362, 1924.

⁴ Kolloid-Zeitschrift 34, 117, 1924.

Donáth³ nachwies und ich durch eigene Untersuchungen bestätigt fand—Glyzerin ähnlich wie Zucker kristallisationshindernd wirkt.

Prof. Dr. Kühl benützt zur Erforschung des Erhärtungsvorganges auf mikroskopischem Wege vorzugsweise die Dünnschliff-Methode. Ich habe mich früher mit dieser Methode auch lange Zeit hindurch befasst, muss aber Herrn Prof. Kühl beipflichten, dass Dünnschliffe verdammt wenig zeigen. Später habe ich zahlreiche Anschliffe von erhärtetem Zement, mit und ohne verschiedener Anätzungen, im senkrecht auffallenden Licht mittels des Vertikal-Illuminators studiert, aber mit demselben negativen Erfolg.

Ich kam deshalb zu der Ansicht, dass die Dünnschliff- und Anschliff-Methode zur Untersuchung von erhärtetem Zement bei den in Frage kommenden Vergrößerungen doch eine viel zu rauhe und wenig elegante Methode ist; selbst durch peinlich-feinstes Schleifen muss das Gefüge des Präparates leiden und unzählige feine Schleifrillen störend wirken, und manches Beobachtungswerte vielleicht verdecken.

Schon vor etwa 5 Jahren habe ich wiederholt darauf hingewiesen, dass es vielleicht ganz verkehrt ist, beim Studium des Erhärtungsproblems des Portlandzementes gleich auf das „Ganze“ loszugehen—also die Untersuchungen gleich mit Portlandzement selbst zu betreiben—, bevor nicht halbwegs Klarheit über die Hydratation der einzelnen wichtigsten Faktoren des Portlandzementes herrscht. Besonders bezogen sich meine Ausführungen auf den Hauptbestandteil des Portlandzementes: den Kalk, und hatte auf einige höchst interessante und merkwürdige Erscheinungen bei der Hydratation des Kalziumoxyds besonders aufmerksam gemacht. Meinen Darlegungen wurde aber leider wenig Beachtung geschenkt, waren doch die Beobachtungen, dass alle Substanzen, welche bei Wasserbehandlung Kalkhydrat hydrolytisch abspalten, kein eigentliches Löschen des Kalkes zeigen und das Kalkhydrat ausnahmslos kristallinisch abscheiden, während reines Kalziumoxyd ausschliesslich zu amorph-kolloidalem Kalkhydrat löst und selbst nach 10 Jahren kein kristallinisches Kalkhydrat abscheidet, weiters, dass Gips bei den erstgenannten Substanzen eine Verzögerung, aber umso reichere Abscheidung des kristallinischen Kalkhydrates bewirkt—bestimmt der Mühe einer weiteren Erforschung wert.

Vor etwa 4 Jahren hatte ich meine Forschungen in dieser Richtung wieder aufgenommen und vor 2 Jahren leider wegen anderweitiger Inanspruchnahme wieder abbrechen müssen. Immerhin förderten meine diesbezüglichen Studien eine Fülle von interessanten Resultaten zu Tage, welche eventuell sogar geeignet sind, den herrschenden Ansichten über das Erhärtungsproblem neue Formen zu geben.

Da nur wenig Aussicht besteht, dass ich meine Forschungen eventuell wieder aufnehmen könnte, werde ich demnächst das gesamte gesammelte Forschungsmaterial unter dem Titel: „Physikalisch-chemische und mineralogisch-kristallographische Studien über das Kalkhydrat. Über die Erhärtungsmöglichkeiten kolloidaler Gallerten und über das Abbinden und Erhärten des Portlandzementes auf Grund der kristallisationsfähigen Modifikation des Kalkhydrates“—zusammengefasst veröffentlichen und im Nachstehenden nur einige Resultate dieser Arbeit, welche sich auf den Erhärtungsvorgang des Portlandzementes direkt beziehen, kurz streifen.

(1) Nur hydrolytisch abgespaltetes Kalkhydrat ist kristallisationsfähig und geht aus dem molekular gelöstem Zustand direkt in den kristallinen Zustand—also ohne einer kolloiden Zwischenstufe—über.

³ Chem.-Industrie 34, 123, 1911.

Reines Kalziumoxyd bildet—ob mit normalen oder überschüssigen Wassermengen behandelt—ausschliesslich amorphes, zum Teil kolloidales Kalkhydrat und scheidet selbst nach Jahren kein kristallinisches Kalkhydrat ab. Solange die gesättigte Kalkhydrat-Lösung mit dem amorphen Kalkhydrat als Bodensubstanz in Berührung steht, bildet sich kein kristallinisches Kalkhydrat.

Auf Abb. 1 (Seite 1116) ist ein Fläschchen mit gequollenem Portlandzement zu sehen mit vielen ausgeschiedenen Kalkhydrat-Kristallen an der Gefässwand fest haftend, hingegen auf Abb. 2 (links) ein Fläschchen mit gelöstem amorphen Kalkhydrat aus reinstem Ätzkalk, in welchem—selbst unter dem Mikroskop nach 2 Jahren noch keine Spur einer kristallinischen Kalkhydrat—Ausscheidung zu entdecken ist.

(2) Amorphes Kalkhydrat kann durch Erreger in den kristallisationsfähigen Zustand überführt werden. Ein solcher Erreger ist besonders Kalziumsulfat und im schwächeren Mass gelförmige Kieselsäure.

Abb. 2 zeigt die makroskopischen Präparate, welche zu dieser Entdeckung führten. Die Gipslösung verhindert ein Löschen des Ätzkalkes zu amorphem Kalkhydrat und bewirkte katalysatorisch eine sehr üppige Abscheidung von kristallinischem Kalkhydrat. Die analogen mikroskopischen Bilder zeigen die Abb. 3 und 4 (Seite 1117).

Durch diese Erscheinung erhält das Gips-Rätsel zur Erklärung der bindezeitverzögernden und festigkeitssteigernden Wirkung eine neue Beleuchtung. Man kann auch aus Ätzkalk und Stuckgips einen ganz hervorragenden Mörtel darstellen, dessen Erhärtung auf dem Auskristallisieren des Kalkhydrates beruht.

(3) Die in mikroskopischen Zement-Präparaten mit grossem Wasserüberschuss stets auftretenden und allgemein als Monocalciumhydrosilikat bezeichneten Nadelkristalle entstehen unter gleichen Bedingungen, in gleicher Form und mit gleichen optischen Eigenschaften auch bei der Hydratation von reinstem Kalkoxyd, wenn der Hydratationsflüssigkeit eine Spur Gipslösung zugesetzt wird. Sie können demnach kein Calciumhydrosilikat darstellen, sondern sind kristallinisches Kalkhydrat. Abb. 5 (Seite 1118) zeigt solche Kalkhydrat-Nadelkristalle bei der Hydratation von reinstem Kalziumoxyd.

Die Nadelkristalle stellen eine somatoide Bildungsform des kristallinischen Kalkhydrates dar, haben jedoch für den Erhärtungsprozess keine Bedeutung und bilden sich im normal-wasserdosierten Zementmörtel überhaupt nicht, weil hierzu die Bedingungen fehlen. Sie bilden sich selbst bei einem grossen Wasserüberschuss nicht, wenn die Zementkörner genügend dicht aneinander liegen, also eine homogene Konzentrationssphäre an gelöstem Kalkhydrat vorliegt.

(4) Das System: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ unterliegt einer Schwindung wenn kristallinisches, und einer Volumenvergrösserung wenn amorphes, kolloidales Kalkhydrat gebildet wird. Legt man der Berechnung folgende Daten zu Grunde:

CaO:	Mol.-Gewicht=56,07	; spez. Gewicht=3,3	
H ₂ O:	„	=18,016;	„ =1,0
Ca(OH) ₂ :	„	=74,086;	„ =2,23 kristallinisch
Ca(OH) ₂ :	„	=74,086;	„ =2,08 amorph-kolloidal

so erfährt das Produkt bei kristallinischem Kalkhydrat eine Schwindung von 5,06%, und bei amorphem Kalkhydrat eine Volumenvergrösserung von 1,56% —bezogen auf das Originalvolumen der reagierenden Stoffe.

Bei der Bildung von Calciumsulfat-Dihydrat aus Estrichgips und Wasser beträgt die Volumkontraktion des Systems 9,32% auf die Originalvolumina der Ausgangsstoffe bezogen.

Der Kühl'sche Flaschenversuch bildet kein absolutes Kriterium dafür, dass die Bodensubstanz tatsächlich eine Schwindung erfährt. Es kann die Bodensubstanz auch eine wirkliche Volumenvergrößerung erfahren und dabei der Meniskus der Messröhre doch sinken. Solange wir nicht wissen, in welcher Form das Kristallwasser in den Kristallen, sowie die Konstitutionsflüssigkeit in kolloiden Gallerten vorliegt, lassen sich diese Fragen nicht bestimmt beantworten. Interessant gestalten sich übrigens die Resultate des Kühl'schen Flaschenversuches, wenn man statt Wasser verschiedene Lösungen, wie Kalkwasser, Gipswasser, Zuckerlösung etc. anwendet. Hierüber berichte ich in der oben erwähnten ausführlichen Zusammenfassung meiner Forschungsergebnisse.

(5) Nachdem sich die zwei bekannten Modifikationen des Kalkhydrates so grundverschieden verhalten, sind m.E. alle jene Versuche zwecklos, welche eine synthetische Darstellung von wasserhaltigen Calciumsilikaten durch die Einwirkung von reinem Kalkoxyd, bezw. einer daraus bereiteten Kalkhydratlösung auf kolloidale Kieselsäure zum Ziel haben. Es ist ja bisher auch noch nicht gelungen, ein einwandfrei definierbares—kristallinisches oder kolloidales—Calciumhydrosilikat herzustellen und wird bei normalen Temperaturen sehr wahrscheinlich auch nie gelingen.

Da die Kieselsäure nur bei hohen Temperaturen einen ausgesprochenen Säurecharakter annimmt und chemische Verbindungen mit dem Calciumoxyd eingeht, aber bei gewöhnlichen Temperaturen kaum als Säure wirkt, besteht eine nur sehr schwache Affinität zu wässriger Kalkhydratlösung. Nach meiner Ansicht ist nur eine gewisse Neigung zur Bildung von Kalkhydrosilikat vorhanden, welche darin besteht, dass kolloidale Kieselsäure infolge ihrer eigenartigen Struktur eine variable Menge Kalkhydrat oberflächlich und in den Mikrokanälen zu binden, bezw. zu verdichten vermag, ähnlich wie etwa feinverteiltes Platin oder Palladium den Wasserstoff. Es spielen da also zwei Vorgänge eine Rolle: (1) eine tatsächlich bestehende, wenn auch nur sehr schwache chemische Affinität zwischen Kalkhydrat und Kieselsäure, und (2) Kapillaritätswirkungen durch die Mikrokanal-Struktur der Kieselsäure-Gallerten, wodurch eine starke Verdichtung der Kalkhydrat-Lösung in den Kieselsäure-Gallerten erfolgt. Man kann diese Vorgänge als eine Stufe zur Bildung von Calciumhydrosilikat auffassen, eine volle Auswirkung kann jedoch nicht eintreten, weil die Bildungsbedingungen fehlen. Der Endeffekt ist der—besonders beim Erhärtungsprozess des Portlandzementes,—dass die gesättigte Kalkhydrat-Lösung in den Mikrokanälen der Kieselsäure-Gallerten kryptokristallinisch auskristallisiert, was einen Übergang der Gelphase in den kristallinen Zustand vortäuscht, und als ein „Altern“ der kolloiden Phase bezeichnet wird. Das kristallinische Kalkhydrat trägt aber zur Verdichtung und Entflüssigung—folglich zur Erhärtung—der Kieselsäure-Gallerten in erster Linie bei.

Die Mikrokanal-Struktur der Kieselsäure lässt sich bei 1000-1500-facher Vergrößerung sehr deutlich beobachten; hierzu eignet sich besonders jene Kieselsäure gut, welche beim Zersetzen von Portlandzement mit Salzsäure sofort ausfällt und nicht so gelatinös beschaffen ist, wie die erst beim Eindampfen entstehende. Interessant ist auch die Beobachtung, wie Kalkhydratlösung das reine Wasser aus gelatinöser Kieselsäure verdrängt. Man lässt zu diesem Zweck auf unter destilliertem Wasser aufbewahrte gelatinöse Kieselsäure aus einer Mikropipette gesättigte Kalkhydrat-Lösung vorsichtig zufließen, welche mit Anthrapurpurin rot gefärbt wurde; besonders schön lässt sich dieser Vorgang mikroskopisch verfolgen.

(6) Dass Herr Prof. Dr. Kühl ein so überzeugter Anhänger der Geltheorie ist, hat seinen Grund wohl darin, dass es ihm nicht gelang im erhärtenden und erhärteten Zementmörtel ausser dem Calciumsulfoaluminat kristallinische Bestandteile, und hauptsächlich das kristallinische Kalkhydrat zu finden. Vielleicht waren aber seine Methoden nicht die richtigen, auch suchte er immer nach „hexagonalen Tafeln,“ während doch bei der hohen Viskosität des frischen normal-wasserdosierten Zementmörtels somatoide Bildungsformen des Kalkhydrates anzunehmen sind.

Im Folgenden sei an Hand der schematischen Zeichnung auf Abbildung 6 eine sehr einfache mikroskopische Methode beschrieben zum Studium des Abbinde- und Erhärtungsvorganges an normal-wasserdosierten Zementmörteln, welche nicht nur eine direkte Beobachtung des kristallinischen Kalkhydrates gestattet, sondern auch zeigt, dass sich wohl sämtliches hydrolytisch abgespaltete Kalkhydrat in der kristallinischen Form abscheidet, und der ganzen Erhärtungstheorie des Portlandzementes neuen Inhalt verleiht.

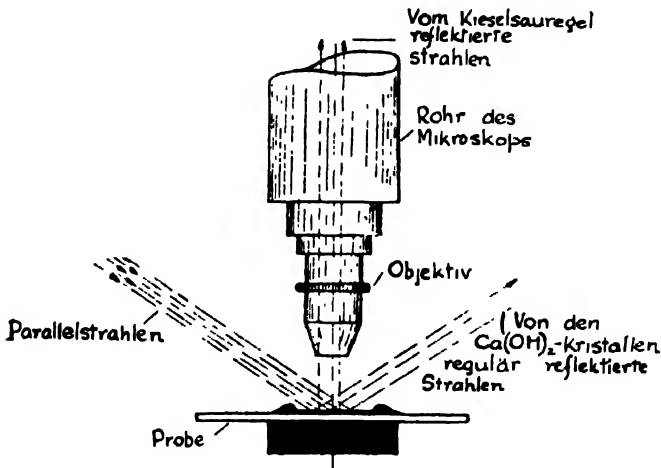


Abb. 6.

Die Anfertigung der Präparate erfolgt in einfachster Weise, indem etwas normalkonsistenter Mörtelbrei auf einen Objektträger gebracht, mit dem Deckglas in dünner Schicht ausgebreitet und der Rand des Deckglases sofort mit Paraffin vergossen wird. Da die Präparate im schief auffallenden Licht beobachtet werden, ist die Dicke der Mörtelschicht ganz belanglos; durch Absieben des Zementes auf einem 4900-er oder 10.000-er Maschensieb gelingt es jedoch leicht, eine so dünne Mörtelschicht zu erzielen, dass die Präparate auch im durchfallenden Licht betrachtet werden können, was die Beobachtungen besonders reizvoll gestaltet.

Die Methodik der Beobachtung der Präparate besteht darin, dass die Oberfläche der Präparate im schief auffallenden Licht untersucht wird, wie auf Abb. 6 (Seite 1174) ersichtlich. Treffen diese schief auffallenden Lichtstrahlen auf Kristallflächen, so werden sie gesetzmässig reflektiert, gelangen also nicht in das Auge des Beobachters, wodurch Kristalle im Sehfeld dunkel erscheinen; hingegen reflektieren kolloide Gebilde, welche keine bestimmten Flächen aufweisen, sondern eine blasigschaumige Masse bilden, einen Teil der Lichtstrahlen so dass sie in's Auge des Beobachters gelangen, im Sehfeld also hell erscheinen.

Die Methode lässt allerdings keine starken Vergrößerungen zu, weil ein bestimmter Abstand der Objektiv-Frontlinse vom Präparat erforderlich ist. Man kommt aber mit schwächeren Vergrößerungen sehr gut aus; ich beobachtete solche Präparate mit einem Objektiv von 12,6 mm äquivalenter Brennweite (Winkel's Achromat No. 3a) und einem Winkel-Zeiss'schen Kompensations-Okular No. 6, welche eine 205-fache lineare Vergrößerung ergeben. Die mikrophotographische Festhaltung solcher Oberflächenbilder ist jedoch recht schwierig.

Wenn wir nun solche normal-wasserdosierte Zement-Präparate unter Anwendung der geschilderten Methodik betrachten, so ergeben sich bereits nach 8-10 Stunden Bilder, wie sie auf den Abbildungen 7 und 8 zu sehen sind. Die dunklen Flächen sind Kalkhydrat-Kristalle, der helle schaumig-blasige Untergrund besteht aus noch sehr flüssigkeitsreichen Kieselsäure-Gallerten und noch unzersetzten Zementpartikelchen. Die Kalkhydrat-Kristalle bilden demnach im erhärteten Portlandzement-Mörtel keine hexagonalen Tafeln, sondern dünne Kristall-Lamellen ohne bestimmter Form und wirken zweckdienlich raumfüllend. Es sind somatoide Bildungsformen des kristallinen Kalkhydrates, entsprechend der hohen Zähflüssigkeit des umgebenden Mediums. Sie stecken „wie Fasern in einer Leimbrühe,“ wachsen aber sehr schnell.

Besitzt man nun genügend dünne Präparate, welche eine bequeme Beobachtung auch im durchfallenden Licht gestatten, so bekommt man einen Begriff davon, weshalb Dünnschliffe von abgebundenem Zement gar so wenig zeigen; immerhin ist die Aufhellung zwischen gekreuzten Nicols schon nach 2-3 Tagen eine unvergleichlich stärkere, wie selbst bei älteren Dünnschliffen.

Abbildung 9 zeigt ein Oberflächenbild des hochwertigen Portlandzements der schweizerischen Portlandzementfabrik Würelingen-Siggenthal nach 24 Stunden, an welchem ich diese Beobachtung erstmals ausführte. Dieselbe Stelle des Präparates nach 28-tägiger Erhärtungsdauer zeigt Abbildung 10; die Kalkhydrat-Kristalle sind ganz beträchtlich gewachsen und bilden zusammenhängende Kristallflächen, die bereits über 60% des Sehfeldes bedecken. Dagegen sind die von den Kieselsäure-Gallerten bedeckten Flächen sehr klein geworden und füllen kaum mehr 40% des Sehfeldes aus. Die Kieselsäure-Gallerten wurden durch die komprimierende Wirkung der wachsenden Kalkhydrat-Kristalle stark entflüssigt und räumlich stark zusammengedrängt, die Festigkeit des Zementes muss demnach ganz bedeutend zugenommen haben. Bezeichnend ist, dass die kleinen hellen Kieselsäure-Gallertflächen von geraden Linien umrahmt sind, herrührend von den umgebenden Kalkhydrat-Kristallkanten. Es liegt also eine Formung kolloider Gallerten durch Kristalle vor.

Die Kristalle bilden sich nicht nur oberflächlich, sondern auch im ganzen erhärtenden Mörtel, wie es frische Bruchflächen von erhärteten Mörtelstücken bei ähnlicher Beobachtungsweise deutlich zeigen.

Die Übung dieser Methodik gestattet auch gute Schlüsse auf die Qualität des Zementes zu ziehen.

Auf Abb. 11 (Seite 1122) sind die Beobachtungen etwas idealisiert zeichnerisch dargestellt. Und zwar zeigt Figur a. die ungefähren Formen der Kalkhydrat-Kristalle im Anfangsstadium der Erhärtung, eingebettet in noch flüssigkeitsreiche Kieselsäure-Gallerten, entsprechend den Mikrophotographien auf den Abb. 7, 8, und 9 (Seite 1120, 1). Figur b. zeigt den Zustand im fortgeschrittenen Stadium der Erhärtung, entsprechend dem Mikrobild auf Abb. 10 (Seite 1121); die Kalkhydrat-Kristalle (dunkle Fläche) sind zu einer zusammenhängenden Fläche gewachsen und haben die Kieselsäure-Gallerten (helle Flächen) durch allseitigem Druck stark entflüssigt und zusammengedrängt.

Diese bei 205-facher Vergrößerung in grossen Mengen gut sichtbaren Kalkhydrat-Kristalle bedingen die erste Verfestigung des Mörtels; sie werden mit der stetigen Entflüssigung der Gelphase naturgemäss immer kleiner bis zu kryptokristallinen Einheiten in den Mikrokanälen der Gallerten, aber an Zahl immer grösser und täuschen deshalb im fortgeschrittenen Stadium der Erhärtung einen Übergang der kolloiden Phase in den kristallinen Zustand vor. Aber schon die sichtbaren Mengen des gebildeten kristallinen

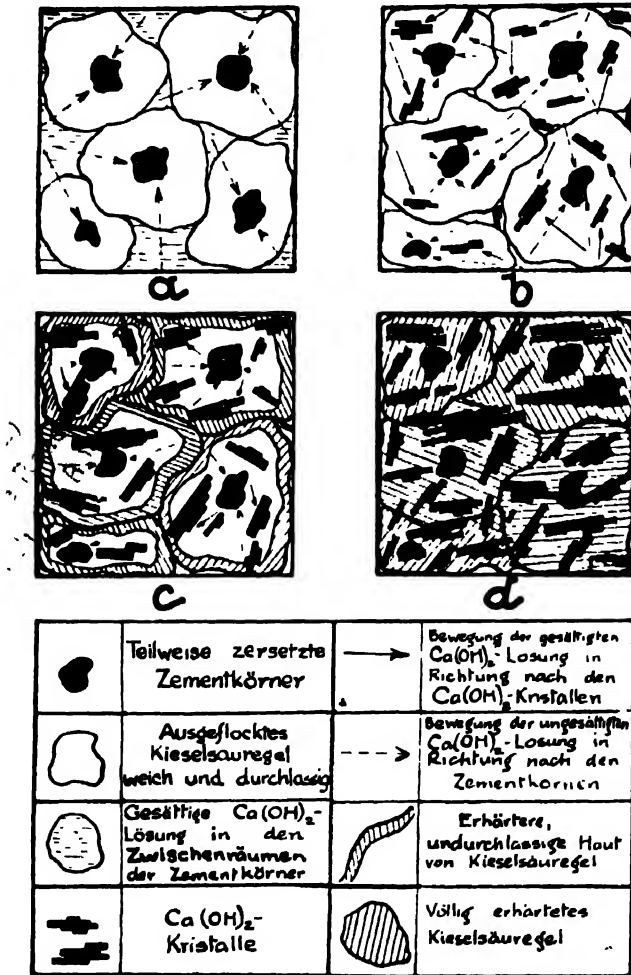


Abb. 12.

Kalkhydrates lassen deutlich darauf schliessen, dass sich wohl sämtliches hydrolytisch abgespaltete Kalkhydrat kristallinisch abscheidet, die Hydrolyse der Calciumsilikate des Klinkers demnach eine vollständige sein muss und keine Calciumhydrosilikate zurückgebildet werden. Dies umso mehr, als von der angewandten Zementmenge bei normaler Wasserdosierung vielleicht höchstens 30-40% hydratisiert werden und an der Erhärtung teilnehmen.

Das Abbinden und Erhärten sind keine verschiedenen Vorgänge, sondern bilden eine stetige Fortsetzung der Hydratation, greifen ineinander ohne markantem Übergang und ergänzen sich.

(7) Aus den geschilderten Beobachtungen, die jeder Nachprüfung absolut standhalten, ergibt sich zwangsweise eine neue und sehr wahrscheinliche Erhärtungstheorie, welche im Folgenden an Hand der schematischen Zeichnung auf Abb. 12 (Seite 1176) erläutert wird. Die Theorie berücksichtigt allerdings nur den Kalk und die Kieselsäure des Portlandzementes, also etwa 87% der Zusammensetzung.

Die Kalksilikate des Klinkers erleiden unter dem Einfluss des Wassers eine vollständige Spaltung in Kalkhydrat, welches molekular in Lösung geht, und Kieselsäure-Hydrosol, welches durch die stark basische gesättigte Kalkhydrat-Lösung zu Gallerten ausgeflockt wird, deren Konsistenzflüssigkeit demnach aus gesättigter Kalkhydrat-Lösung besteht.

Figur a. auf Abbildung 12 stellt den Zustand des normal-konsistenten Zementbreies nach dem Anrühren dar. Das System ist sehr flüssigkeitsreich, die Zementpartikelchen haben eine oberflächliche Zersetzung erfahren. Die ausgeflockten Kieselsäure-Gallerten sind sehr voluminös, permeabel für die molekulare Kalkhydrat-Lösung, und umgeben die Zementkörnchen; das Anmachwasser ist an Kalkhydrat noch nicht ganz über-gesättigt, infolge der gleichzeitig gebildeten Gips-Lösung, welche viel mehr Kalkhydrat zu lösen vermag als Wasser, eine Über-Sättigung also erst später eintreten kann. Die abgespaltene Kieselsäure ist natürlich zuerst—quasi in statu nascendi—im Solzustande anwesend und wird erst bei einer bestimmten Konzentration des Anmachwassers an Kalkhydrat gallertig ausgeflockt. Es wandert durch die permeablen Kieselsäure-Gallerten Kalkhydrat-Lösung zu den Zementkörnchen, bildet weitere Gallerten und sättigt sich.

Figur b. zeigt das Stadium des Abbinde-Beginns. Die verzögernde Wirkung der gleichzeitig anwesenden Gips-Lösung hat aufgehört, das Anmachwasser hat sich an Kalkhydrat gesättigt und wird durch die eintretende geringe Temperaturerhöhung infolge der freiwerdenden Bildungswärme rasch übersättigt. Nun beginnen sich innerhalb und ausserhalb der Gallerthüllen Kristallkeime des Kalkhydrates auszuschcheiden, welche rasch wachsen. Jener Zeitpunkt, wo wir bei den Abbindeproben ein sehr rasches Verschwinden des Oberflächenwassers beobachten, entspricht der eigentlicher quantitativen Koagulation des Kieselsäuresols zu Gallerten, deren Mikrokanal-Struktur erhebliche Kapillarkräfte entwickelt. Die Porenflüssigkeit ist bereits verschwunden, sie wurde als Kristallwasser zum Aufbau der Kalkhydrat-Kristalle und als Konsistenzflüssigkeit der weiter gebildeten Kieselsäure-Gallerten verbraucht.

Die wachsenden Kalkhydrat-Kristalle üben allseitig einen Druck auf die noch weichen, flüssigkeitsreichen und permeablen Kieselsäure-Gallerten aus, wodurch diese stetig ärmer an Konsistenzflüssigkeit und zäher, viskoser werden. Gesättigte Kalkhydrat-Lösung wandert zu den wachsenden Kristallen, trägt zu deren Aufbau unter chemischer Bindung eines Molekels Wassers bei; die an gelöstem Kalkhydrat dadurch ärmer werdende Lösung wandert zu den nur oberflächlich zersetzten Zementpartikelchen, bildet weitere Kieselsäure-Gallerten und sättigt sich wieder. Das ganze System ist also bereits zähflüssiger geworden.

Zeichnung c. zeigt den Zementmörtel in dem Zustand, welchen wir als „abgebunden“ bezeichnen. Durch die innere Kompression der wachsenden Kalkhydrat-Kristalle und durch das stetige Ärmwerden der Gallerten an Konsistenzflüssigkeit erhärten naturgemäss die äusseren Schalenzone der Kieselsäure-Gallerten zuerst. Die Flüssigkeitswanderung wird immer träger, die sich neu abscheidenden Kalkhydrat-Kristalle werden immer kleiner und reicher an Zahl. Die erhärteten äusseren Schalenzone der Kieselsäure-Gallerten

sind impermeabel geworden, so dass sich die weitere Verfestigung nurmehr auf das noch weiche Innere der Gallerten beschränkt.

Figur d. zeigt endlich den idealen Abschluss der Erhärtung. Im ganzen System ist Ruhe eingetreten. Sämtliches Wasser ist in Form von Kristallwasser in den Kalkhydrat-Kristallen gebunden, welche ihre maximal mögliche Grösse und Zahl erreicht haben und durch Kompression die Kieselsäure-Gallerten vollkommen entflüssigt und zur schwindungsfreien Erhärtung gebracht haben. Die Zementkörnchen sind nicht vollkommen zersetzt und ist ein grosser Überschuss an unzersetzter Substanz für eine gute und rasche Erhärtung sogar von eminenter Wichtigkeit. Dieser ideale Abschluss der Erhärtung wird ja praktisch nie, oder unter bestimmten Voraussetzungen nur nach sehr langer Zeit erzielt, weil durch die Luftfeuchtigkeit und andere äussere Einflüsse immer wieder Wasser zugeführt werden kann. Hiefür liefert uns die Praxis zahlreiche Beispiele, man braucht nur an die Festigkeitsgestaltung bei Luft-, Wasser-, kombinierte- und KL-Lagerung zu denken. Kieselsäure, u.z. die durch hydrolytische Spaltung der Calciumsilikate entstandene kolloidale Modifikation, scheint in einem gewissen Grade ein reversibles Kolloid zu sein.

Aus dieser Theorie lassen sich auch folgende Gedanken ableiten:

(a) Ideal ist jener Zement zu nennen, welcher weder treibt noch schwindet, wo also die kolloide und kristalloide Phase derart zusammenwirkt, dass dem Masse des Kalkhydrat-Kristallwachstums dasselbe Mass des Schwindens der Kieselsäure-Gallerten entspricht, also das Gesamtvolumen des Systems unverändert bleibt. Überwiegt die eine oder andere Phase, so tritt Volumen-unbeständigkeit ein.

(b) Kristallisationsfähiges Kalkhydrat kann nicht als Ursache des Kalktreibens gelten; eine Ausnahme bilden nur die sogenannten Sprengkristalle des Kalkhydrates, welche aber nur im unsachgemäss verlegten, ungenügend dichten Mörtel und unter Wasser entstehen können, und lokales makroskopisches Treiben, bezw. Sprengen des Gefüges verursachen. Nur freier Kalk, welcher also nicht an die Kieselsäure des Klinkers gebunden ist und infolgedessen bei der Hydratation kein kristallisationsfähiges, sondern nur amorphes Kalkhydrat durch sehr träges Lösen bilden kann, kann als Ursache des Kalktreibens angesprochen werden.

Die geschilderte Theorie wird auch durch jene Erscheinung gestützt, dass vollkommen raumbeständiger erhärteter Portlandzement in Stücken wieder bis zur Sinterung gebrannt, einen sich bei der Hydratisierung stark erhitzenden, stark und sofort treibenden Klinker ergibt, welcher sich genau wie Ätzkalk verhält; wird aber der erhärtete Zement feinst aufbereitet und dann wieder bis zur Sinterung gebrannt, so ist das Produkt durchaus raumbeständig.

Das Kalktreiben kann auch nicht durch einen „gerichteten Kristallisationsdruck des Kalkhydrates“—wie es besonders Dr. Kühl annimmt—erklärt werden.

Die mechanische Wertigkeit eines Zementes hängt demnach in erster Linie von der Menge des kristallisationsfähigen Kalkhydrates ab, und da nur hydrolytisch abgespaltenes Kalkhydrat kristallisationsfähig ist, wird das Maximum des hydraulisch wirksamen Kalkgehaltes im Klinker erst dann angegeben werden können, wenn dessen Konstitution völlig klargestellt ist. Es ist auch mit grösster Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass sich die Calciumaluminat des Klinkers bei der Hydratation mit normalen Wassermengen genau so verhalten, wie die Calciumsilikate; jedenfalls bilden sich die bei viel Wasser so zahlreich erscheinenden Calciumhydroaluminat-Plättchen im normalen Mörtel nicht.

Schliesslich kommt dem Calciumsulfoaluminat im erhärteten Mörtel gar keine Bedeutung zu und bildet sich auch nur unter besonders günstigen und künstlich geschafften Bedingungen und bei Anwesenheit von viel Wasser. Man muss immer an die hohe Zähflüssigkeit normal-wasserdosierter Zementmörtel denken, welche einen eminenten Einfluss auf die Form und Art der Hydratationsprodukte ausübt, wie wir es ja beim Kalkhydrat gesehen haben.

Verwendet man eine sehr schwache Zuckerlösung als Anmachwasser, so bleiben bei der beschriebenen Oberflächen-Untersuchung die typischen Kalkhydrat-Kristalle ganz aus. Aber nicht nur eine Verhinderung der so wichtigen Kalkhydrat-Kristallbildung konnte ich beobachten, sondern auch eine eigenartige Verwandlung des sonst kristallisationsfähigen Kalkhydrates in eine gallertig-kolloidale Modifikation. Abb. 13 (Seite 1125) stellt kleine, auf mikrurgischem Wege gesammelte Kalkhydrat-Kristalle dar, welche im Präparat mit 5%-iger Zuckerlösung innerhalb 8 Tagen in diese gallertig-kolloidale Modifikation des Kalkhydrates übergegangen sind. Die Zuckerwirkung beruht demnach auf einer Kolloidisierung des kristallisationsfähigen Kalkhydrates, womit naturgemäss grosses Schwinden verbunden ist und die Erhärtung nur durch Alterung der gebildeten Gallerten eintritt.

Synthetische Gemische (ungefähr der Portlandzement-Zusammensetzung entsprechend) von gelatinöser Kieselsäure, feinst gepulvertem Ätzkalk und etwas Gips, erhärten genau so wie Portlandzement. Auch hier erfolgt reiches Auskristallisieren des durch den Gips angeregten amorphen Kalkhydrates innerhalb und ausserhalb der Gallerthüllen, wodurch die schwindungsfreie Verfestigung des Systems gegeben ist.

Da Calciumoxyd unter normalen Bedingungen nur das kristallinische Monohydrat zu bilden vermag, ist anzunehmen, dass ein Zement, welcher an Stelle des Calciumoxyds einen anderen Grundstoff enthält, welcher auf analoger Weise bei der Hydratisierung höhere Hydrate bildet, ein besonders gutes und rasches Erhärtungsvermögen besitzen muss.

(8) Es sei in Kürze noch ein Beispiel der Überführung des treibenden amorphen Kalkhydrates in die nichttreibende kristallisationsfähige Modifikation durch Calciumsulfat angeführt.

Zu diesem Zweck habe ich mir einen Zement mit 72% Kalkoxyd-Gehalt gebrannt, welcher—wie zu erwarten—ganz ausserordentlich trieb. Zur mikroskopischen Oberflächen—Untersuchung fertigte ich mit normal-wasserdosiertem Brei dieses Zementes Präparate an: einmal ohne Gips, und dann mit 3% Gipszusatz (Halbhydrat-Stuckgips).

Das Präparat ohne Gips trieb bereits ganz gewaltig schon nach 24 Stunden; die Oberfläche war zerklüftet, rissig und rau, das Deckglas wölbte sich nach oben konvex wie ein Uhrglas. Nach 48 Stunden war das Deckglas gesprengt, die Masse war ganz pulverig. (Nebenbei will ich nur bemerken, dass man durch Abtasten des Deckglases solcher Präparate mittels eines Sphärometers selbst eine geringfügigste Volumenunbeständigkeit von Mörteln nachweisen kann).

Das zweite Präparat mit 3% Gips-Halbhydrat blieb unverändert, glatte Oberfläche, Masse rissfrei und zusammenhängend. Auch heute nach 2-jähriger Beobachtungszeit zeigt das Präparat keine Änderung, auch das Deckglas ist vollkommen eben geblieben.

Die zu diesen Präparaten gehörigen Mikro-Oberflächenbilder zeigen die Abb. 14 und 15 (Seite 1126) und tritt der Unterschied sehr deutlich hervor, Durch den Gipszusatz ist tatsächlich das amorph-kolloidale Kalkhydrat in die

kristallisationsfähige Modifikation überführt worden und damit der Beweis erbracht, dass die kristallinische Modifikation des Kalkhydrates im dichten Mörtel nicht als Ursache des Kalktreibens gelten kann.

Die Kühl'sche Geltheorie ist durch die „innere Absaugung“ allein unvollkommen erklärt, es müsste dabei doch ein erhebliches Schwinden der Mörtelmasse eintreten. Diesem Schwinden treten aber die raumfüllenden Kalkhydrat-Kristalle entgegen. Nur ein ideales Zusammenwirken der Kolloide und des kristallinen Kalkhydrates gibt uns einen volumbeständigen und schwindungsfreien Portlandzement mit hohen hydraulischen und mechanischen Eigenschaften. Der Volumenschwindung durch Entflüssigung der Kolloide muss eine entsprechende Volumenzunahme durch das Wachstum der Kalkhydrat-Kristalle gegenüberstehen.

Ganz unhaltbar sind aber Ansichten, wie sie z.B. P. H. Bates⁶ (Vorstand der Abteilung für Zement, Beton und Keramik am Bureau of Standards in Washington) vertritt, indem er sagt: „Wie wenig auch von dem Charakter des hydrierten im Kalkgehalt niedrigen Silikats des Portlandzements festgestellt werden kann, es zeigt doch, dass es der ideal anorganische Leim ist, besonders dann, wenn es von der Abwesenheit kristallinen oder amorphen hydrierten Kalkes begleitet ist,“ oder A. Hauenschild, welcher mir noch im September 1926 schrieb: „Ihre Arbeiten über die Kristallisationsbedingungen des Kalkhydrats sind sehr interessant. Nach meiner Ansicht handelt es sich aber beim Abbinden und Erhärten des Zementes gar nicht um Kristallisations-Erscheinungen, sondern um rein kolloidale Wirkungen. Die sich bildenden Kristalle sind nur Nebenerscheinungen und können im dichten Mörtel nicht beobachtet werden.“

Wenn also die genannten Forscher meine Versuche und Untersuchungsmethoden nachgeprüft haben werden, wird ihnen nolens-volens nichts anderes übrigbleiben, als einer kristalloid-freundlicheren Erhärtungstheorie beizupflichten.

Zusammenfassung.

1. Die Hydrolyse der Kalksilikate des Klinkers ist bei Wasserbehandlung eine vollständige, d.h. die Spaltprodukte bestehen aus Kieselsäure-Gallerten und Kalkhydrat. Dabei ist es unwesentlich, ob in Bezug auf Zementsubstanz mit viel oder wenig Wasser gearbeitet wird.

2. In normal-wasserdosierten Zementmörteln fallen die Hydrations-Produkte in Bezug auf Form und Art infolge der hohen Viskosität des Systems ganz anders aus, als bei einem grossen Überschuss von Wasser, und nehmen somatoide Bildungsformen an.

3. Die in mit überschüssigem Wasser behandelten Zementpräparaten auftretenden Nadelkristalle bestehen aus Kalkhydrat und bilden sich bei normaler Mörtelkonsistenz nicht.

4. Calciumhydrosilikate bilden sich im erhärtenden Zement nicht, weder in kristallinischer, noch in kolloidaler amorpher Form.

5. Im erhärteten Zementmörtel liegt sämtliches hydrolytisch abgespaltete Kalkhydrat in der kristallinen Modifikation vor. Die Kristallform des Kalkhydrates im erhärteten Zement ist nicht die sonst in wässrigen Zementpräparaten auftretende hexagonale Platten- oder Säulenform, sondern eine unregelmässige, zweckdienlich raumfüllende Lamellenform.

⁶ Zement, 16, 757. 1927.

6. Kristallinisches, bzw. kristallisationsfähiges Kalkhydrat kann nicht als Ursache des Kalktreibens gelten. Hydrolytisch abgespaltenes Kalkhydrat ist stets und ohne Erreger kristallisationsfähig; amorphes Kalkhydrat bedarf zur Kristallisation eines Erregers, ist als Ursache des Kalktreibens anzusprechen und bildet sich nur bei der Hydratation von Zementen im späteren Erhärtungsstadium, welche freien Kalk enthalten. In diesem Stadium hat der anwesende Kristallisations-Erreger-Gips-keine Wirkung mehr.

7. Der Erhärtungsvorgang des Portlandzementes beruht auf einem idealen Zusammenwirken der kolloidalen Kieselsäure und des kristallinen Kalkhydrates, welches den grössten und wichtigsten Bestandteil des erhärteten Portlandzementes bildet. Das Kalkhydrat ist als Grundlage der verkittenden Eigenschaft des Zementes, also als Träger der Erhärtung anzusprechen.

8. Es wird ein mikroskopisches Beobachtungs-Verfahren beschrieben, welches gestattet, die geschilderten Vorgänge bei der Erhärtung des Portlandzementes mit normaler Wasserdosierung zu verfolgen und zu stützen.

9. Das Gipstreiben beruht auf übermässiger Kristallisation des Kalkhydrates, wobei die vorhandene Menge an Kieselsäure-Gallerten nicht ausreicht. Hingegen ist es möglich einen Kalktreiber durch Gipszusatz volumenbeständig zu machen, durch Überführung des sich bildenden amorphen Kalkhydrates in die kristallinische Modifikation. Praktisch ist dies jedoch nur im begrenzten Masse möglich, weil sonst wieder zu viel kristallinisches Kalkhydrat entsteht.

ANMERKUNG DER SCHRIFTFÜHRUNG.

DER Herausgeber der internationalen Zeitschrift „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“ fordert die Leser dieser Zeitschrift auf, ihm Artikel zur Veröffentlichung zur Verfügung zu stellen. Das Manuskript kann in englischer, französischer, deutscher oder spanischer Sprache eingereicht werden und wird in die drei anderen Sprachen durch Fachleute übersetzt.

Es werden Abhandlungen erbeten über alle neuen Gedanken oder Entwicklungen in der Herstellung, Chemie oder Prüfung von Zement oder über verwandte Themata, die für die Zementindustrie von allgemeinem Interesse sind. Beschreibungen und Ansichten neuer, in allen Teilen der Welt errichteter Zementfabriken sind ebenfalls willkommen.

Die Hersteller von Zementmaschinen sind ebenfalls aufgefordert, Mitteilungen und Ansichten zur Verfügung zu stellen, welche sich auf neue von ihnen erbaute Werke und Neueinrichtungen ihrer Fabriken beziehen. Derartige Beiträge sind eingeschrieben zu senden an den Herausgeber von „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“, Dartmouth Street 20, Westminster, London, S.W.1 (England).

Fortschrittsberichte über Zement im Jahre 1930.—I.

von OTTO FR. HONUS.

Analytisches.

ZUR Schnellbestimmung des Eisenoxydes im Zement entwickelt J. Basso Oliva¹ folgende Methode: Mit Hilfe von automatischen Büretten wird die Titration mittels TiCl_3 vorgenommen, welches unter Wasserstoff aufbewahrt wird. Man löst 0,5 g Zement in 20 bis 30 ccm Wasser und 10 ccm conc. HCl auf, erhitzt bis zur Lösung, verdünnt mit 70 ccm Wasser, fügt KMnO_4 bis zur bleibenden Rotfärbung hinzu, dann 5 bis 6 ccm KCNS und titriert mit TiCl_3 schnell ohne Bewegung des Kolbens bis zum Verschwinden der Rotfärbung. Die TiCl_3 -Lösung wird mittels Methylenblaulösung und Eisenammoniumsulfatlösung gestellt. Zur indirekten Bestimmung des Kalkes im Zement mit Natriumoxalat Sörensen gibt A. Heiser² nachstehende Methode an: Das aus 1,000 g Analysensubstanz von den Sesquioxiden Abfiltrierte wird nach Ansäuerung mit HCl unter Sieden mit 1,9832 g $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ entsprechend 0,8300 g CaO versetzt. Nach Lösung und Bindung des Salzes wird unter Sieden HCl bis zur Lösung zugesetzt. CaC_2O_4 wird durch tropfenweisen Zusatz von NH_3 gefällt. Nach dem Absitzen wird der Niederschlag filtriert, heiss ausgewaschen und ein Teil mit H_2SO_4 und MnSO_4 versetzt und bei 70°C . mit $\text{N}/10$ KMnO_4 titriert. Untersuchungen über die Anwendung der Filtrationsmethode in der Massanalyse der Portlandzemente sind von H. Th. Bucherer und F. W. Meier³ ausgeführt worden. Sie schlagen vor, kalkreiche Silicate, besonders Portlandzement, mit HNO_3 zu behandeln, da $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sich in Alkohol löst. Die Abscheidung von SiO_2 wird hierdurch wesentlich erleichtert. Ein neuer Analysengang für Portlandzement wird angegeben.

R. H. Bogue⁴ leitet eine Berechnungsmethode aus der Analyse ab und arbeitet 3 Nomogramme aus, an denen der Gehalt an $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ und $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, freier Kalk, freier Magnesia und Gips entnommen werden kann. Der verbesserten Methode zur Bestimmung des ungebundenen Kalkes im Portlandzement nach W. M. Lerch und R. H. Bogue⁵ liegt die Gleichung:



zugrunde. Man bereitet eine Lösung aus 1 Vol. Teil Glycerin mit 5 Volumteilen absolut Alkohol, die je Liter 2 ccm 1%ige Phenolphthaleinlösung enthält und durch Zusatz von verdünnter alkoholischer NaOH -Lösung bzw. einer alkoholischen Lösung von Ammonacetat genau auf den Neutralpunkt eingestellt wird. Zur Bereitung der Standardlösung werden 16 g krystallin. Ammonacetat in 1 Liter absol. Alkohol gelöst und gegen eine CaO -Lösung eingestellt. Erhitzen von Ca -Oxalat bei 900 – 1000°C . bis zur Gewichtskonstanz, davon etwa 0,1 g im 200 ccm Erlmeyerkolben mit 60 ccm der Glycerin-Alkohol Lösung schütteln und mit Rückflusskühler 20 Minuten kochen, heiss mit der Acetat-lösung titrieren, wieder 20 Min. kochen und titrieren, und dies solange wiederholen, bis keine Rotfärbung mehr auftritt. Von dem gepulverten Zement wird 1 g ebenso im 200 ccm-Erlmeyerkolben mit 60 ccm von dem Glycerin-Alkohol-

¹ "Chim. et Industrie," 23, Sond. Nr. 3, S. 378-81, 1930.

² "Zement," 19, S. 1154 bis 1155, 1930.

³ "Ztschr. für analyt. Chem.," 82, S. 1-44, 1930.

⁴ "Ind. Engin. Chem.," Analytical Edition, 1, S. 192-97, 1929.

⁵ *Ibid.*, 2, S. 296-98, 1930.

gemisch behandelt und durch Berechnung der CaO-Gehalt festgestellt. Man kann nur H₂O-freien Alkohol gebrauchen, feinste Pulverung des Zementes ist unerlässlich. G. E. Bessey⁶ ändert die Glycerinmethode zur Bestimmung des freien Kalkes ab und schlägt vor, den freien Kalk mit Glycerin allein zu extrahieren und mit alkoholischer Benzoesäurelösung zu titrieren.

Beim Titrieren von Zementmehl mit 1%iger Essigsäure in Gegenwart von CO₂ bei Anwendung von H-Säure (1,8,3,6-Aminonaphtoldisulfosäure) gekuppelt mit diazotiertem P-Nitranilin als Indicator beobachten H. Th. Bucherer und F. W. Meier⁷ in den Umschlagzeiten, Haltezeiten, die sie durch stufenweise Reaktion mit den einzelnen Konstitutionen des Zementes erklären.

P. Erculisse⁸ untersucht kritisch die Methoden der Analyse und die Prüfung der Zemente, und schlägt einfache Molekularformeln vor, die den Gehalt an wirklich vorhandenen Verbindungen ausdrücken. Zweckentsprechend soll auch die Wasserzugabe zum Zement genau bemessen werden.

Kalk, Kieselsäure, Tonerde, Ton, Kalksilicate, Aluminate und Ferrite.

(1) **Calciumhydroxyd.**—Nach Hüttig und Arbes⁹ zeigen die isobaren Entwässerungskurven scharf die Existenz des Monohydrates CaO.H₂O an. Die Zersetzungstemperaturen für die auf verschiedenen Wegen hergestellten Präparate liegen zwischen 385 bis 398° C. bei H₂O=10 mm. In guter Uebereinstimmung mit diesen Werten steht der thermodynamisch berechnete. Th. Thorvaldson und W. G. Brown¹⁰ bestimmen aus 3 verschiedenen hergestellten Präparaten von Ca(OH)₂ in HCl.200 H₂O die Lösungswärme im Mittel zu 550 cal/g CaO bzw. 30,85 Kcal/Mol. gegenüber den Werten von Thomsen 30,49 und Berthelot 30,96 Kcal/Mol. Für ein höheres Hydrat als CaO.H₂O wurde bei 21° C. keine Anzeichen gefunden.

(2) **Kieselsäure.**—Von durch langsame Zersetzung von ortho-Kieselsäureäthylester in Alkohol entstandenen grobteiligen Kieselsäurehydraten haben P. A. Thiessen und O. Körner¹¹ p-x-Diagramme aufgenommen. Die bei 110° C. aufgenommenen Kurven zeigen eine Reihe deutlich ausgeprägter Stufen an. Ausser den bereits festgestellten Hydraten der Zusammensetzung SiO₂.2H₂O, 2SiO₂.3H₂O und SiO₂.H₂O erweist sich die Existenz eines weiteren Hydrates der Zusammensetzung 2SiO₂.5H₂O. Die Stufe, die dem Beginn dieses Hydrates entspricht, ist nicht scharf ausgeprägt, wahrscheinlich wegen der nicht grossen Beständigkeit. Bei weiteren isothermen Abbau, bei höheren Temperaturen (32° C.) konnte noch eine Stufe, deren Beginn der Zusammensetzung 2SiO₂.H₂O entspricht, nachgewiesen werden. Es bieten sich dagegen keine Anhaltspunkte dafür, dass beim Abbau von wasserreichen Kieselsäurehydraten im festen Zustand Polykieselsäuren auftreten. Im weiteren Verfolg der Untersuchungen¹² wurde auf Grund der p-x-Diagramme eine Methode zur Darstellung der einzelnen reinen Kieselsäurehydrate angegeben.

(3) **Tonerde.**—Calorische und Röntgenstrahlenuntersuchungen des Entwässerungsvorganges von Aluminiumoxydhydraten hat E. Klever¹³ vorgenommen. Ein Präparat, das durch Röntgenaufnahmen als Bayerit identifiziert wurde, wurde bei Temperaturen bis 1200° C. entwässert und von den erhaltenen Präparaten die Lösungswärmen bei 18,52 bis 54° in 40%iger HF bestimmt.

⁶ "Journ. Soc. Chem. Ind.," 49, Transact., S. 360-62, 1930.

⁷ "Zement," 19, S. 1134-38, 1930.

⁸ "Chimie et Industrie," 21, Nr. 2, S. 475-87, 1930.

⁹ "Ztschr. f. anorg. u. allg. Chem.," 191, S. 161, 1930.

¹⁰ "Journ. Americ. Chem. Soc.," 52, S. 80-87, 1930.

¹¹ "Ztschr. f. anorgan. u. allg. Chem.," 189, S. 168-73, 1930.

¹² Ebd., 189, S. 174-83, 1930.

¹³ "Trans. Ceramic Soc.," 29, Nr. 5, S. 149-61, 1930. Bally.

Aus den erhaltenen Kurven und an den gleichzeitig hergestellten Röntgenaufnahmen nach der Pulvermethode konnte folgender Verlauf der Entwässerung festgestellt werden: Bis 210° C. bleibt das Gitter des Ausgangsmaterials erhalten, zwischen 210° und 900° C. tritt ein neues Gitter auf, welches dem $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ zugeschrieben wird; zwischen 900° und 1200° treten einige neue Linien auf, die auf Rekristallisation des γ -Gitters schliessen lassen. Erst oberhalb 1200° tritt das Gitter des α -Korunds auf. Ein aus der Kurve der Lösungswärme extrapolierter Wert von 92,5 Kal./Mol. für wasserfreie Tonerde, wird der γ -Modifikation zugeschrieben. Es wird auf die Existenz eines Monohydrates geschlossen, für dessen Hydrationswärme 27,5 Kal./Mol. berechnet wird. Eine Neubestimmung der Lösungswärme von Quarz ergab den Wert $34,12 \pm 0,15$ Kal./Mol. für 40%ige HF. Die röntgenographischen Untersuchungen von bei 650° C. entwässerten Kaolin ergab keine Andeutung für die Anwesenheit von freiem Al_2O_3 , so dass die Annahme eines Zerfalls des Kaolins in Al_2O_3 und SiO_2 in diesem Temperaturgebiet unwahrscheinlich erscheint und die Existenz eines Kaolinanhydrits (Metakaolin) angenommen wird.

(4) **Ferrihydroxyd.**—Welche Bedeutung das Ferrihydroxyd für den Aufbau der Zemente hat, ist noch nicht völlig geklärt. Es ergeben sich nach Hüttig und Carside¹⁴ für alle durch Fällung frisch bereiteter Präparate von Eisenoxydhydraten unabhängig von ihrem Wassergehalt eine Dampfdruckkurve ohne Knick, wie sie bezeichnend für Kolloide oder vorwiegend Kolloide Systeme ist. Th. Thorvaldson, W. G. Brown und C. R. Peaker¹⁵ bestimmen die Lösungswärme des Tricalciumaluminats und seiner Hydrate und finden bei 20° C. für die Hydrationswärme $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 214 cal/ 20° g oder 57,780 Kcal/ 20° /g-Mol. $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Für die Bildungswärme $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ aus $3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ ergibt sich durch Kombination der Werte mit den Literaturwerten zu 77 cal/g und 2,079 Kcal/g-Mol.

Die Lösungswärme der Mono- und Di-calciumsilicate untersucht R. Nacken¹⁶ und berechnet daraus die Bildungswärmen für die entsprechenden Silicate wie folgt:

	Losungswärme Kcal/Mol.	Bildungswärme aus den Oxyden Kcal/Mol.
für Ca_2SiO_4	92,671	36,109
„ Sr_2SiO_4	96,294	32,956
„ Ba_2SiO_4	85,030	25,190
„ βCaSiO_3	48,996	29,877
„ αCaSiO_3	50,768	28,105
„ SrSiO_3	57,418	24,660
„ BaSiO_3	50,300	20,209

Synthese, Konstitution und Petrographie der Zemente.

Die chemische Einwirkung von CaO und MgO auf Tonsubstanz und tonhaltigen Massen beim Brennen studierten R. Rieke und E. Völker¹⁷. Sie stellen fest, dass das löslich gewordene, daher mit CaO in Reaktion getretene Al_2O_3 und SiO_2 im Verhältnis 1 : 2 steht, während das Verhältnis $\text{CaO} : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ sich bei zunehmender Brenntemperatur dem des Anorthits nähert 1 : 1 : 2. Bei Gegenwart von MgO verläuft alles anders. MgO bleibt bis zu 900° zum grössten Teil säurelöslich, bei höherer Temperatur nimmt die Säurelöslichkeit

¹⁴ "Ztschr. f. anorg. u. allg. Chem.," 185, S. 403, 1930.

¹⁵ "Journ. Americ. Chem. Soc.," 52, S. 3927-36, 1930.

¹⁶ Vortrag erhalten auf der 53. Generalversammlung des Vereines deutscher Portlandzementfabrikanten, E.V.

¹⁷ "Ber. d. deut. Keram. Ges.," 11, S. 608-15, 1930.

ab im Gegensatz zu Kalk. Es wird auch wenig Tonsubstanz säurelöslich gebunden. Mischungen von CaO und MgO verhalten sich wie die einzelnen Komponenten.

Anheizkurven von CaCO_3 und SiO_2 im Verhältnis 2 : 1 in Gegenwart von B_2O_3 (Borsäure)¹⁸ gaben bei 1420° einen exothermen Effekt, der der Bildung des Silicates zuzuschreiben ist, nachher einen endothermen Effekt, der der Umwandlung der β -Form in die α -Form zuzuschreiben ist. Die erste Reaktion wurde durch B_2O_3 nicht beeinflusst, wohl aber die letztere beschleunigt. Bei Mischungen der im Klinker vorkommenden Oxyde in den Verhältnissen der Praxis wurden ähnliche Anheizkurven erhalten, deren Knickpunkt bei 1300° C lag. B_2O_3 änderte nur wenig, jedoch enthielten die Klinker merkwürdigerweise mehr freien Kalk. Den Einfluss von Flussmitteln auf die Schmelztemperatur portlandzementähnlicher Mischungen untersuchte W. C. Hansen¹⁹ und fand bei Ausschluss aller Flussmittel eine Schmelztemperatur von 1455° C; bei Zusatz von MgO bei 1375° C, bei Ersatz von MgO durch Fe_2O_3 bei 1340° C, bei gleichzeitiger Verwendung von MgO und Fe_2O_3 bei 1300° C, bei Gegenwart von Na_2O allein bei 1430° C, bei Zutritt von MgO bei 1365° C, bei Na_2O und Fe_2O_3 bei 1315° C und bei Gegenwart aller Zusatzoxyde bei 1280° C. H. Luftschitz²⁰ erschmolz MgO-reiche Tonerdezemente bei 1800° C, die meist wenig CaO und SiO_2 , aber etwa 10% FeO enthielten. Ein brauchbarer Zement konnte nicht erhalten werden. A. J. Blank²¹ stellte Rohstoffmischungen für Portlandzement mit 8-19% MgO her, die sich beim Brennen im Drehofen zusammenballten. Obwohl die erbrannten Zemente gute Festigkeit aufwiesen, zerbröckelten sie schliesslich. Weniger schlecht aber doch brauchbar waren Zemente mit 6,2 bis 7,6% MgO. S. Nagai und K. Akiyama²² benutzen zur Synthese von Kühlzement Fe-reiche Puzzolane und stellen die Kalkbindung beim Brande fest. Dieselbe war bei 1035° vollkommen und erreichte auf solche Art hergestellter Kühlzement eine Druckfestigkeit nach 28 Tagen von 650 kg/qcm. In einem anderen Falle²³ wurde eine Fe-reiche Kupferschlacke und ein lehmiger Ton zu Kühlzement verarbeitet. Weitere Untersuchungen²⁴ betrafen die Herstellung von Kühlzement aus natürlichen Rohstoffen. Die besten Festigkeiten werden bei den höchsten R_2O_3 -Gehalten, die zur Hälfte an Fe und Al verteilt waren (je 7-9%) und bei einem CaO-Gehalt von 61,7-62,5% erreicht. Im weiteren Verfolg der Arbeiten wurde in Gemeinschaft mit K. Asaoko²⁵ ein Zement mit der Zusammensetzung 65% CaO, 9% Fe_2O_3 , 2% Al_2O_3 , 22% SiO_2 bei einer Brenntemperatur von 1450° C aus Cu-Schlacke, Pyritabbränden und Kalkstein gebrannt. Die Festigkeiten dieses Zementes lagen unter denen des Kühlzementes und Portlandzementes.

N. P. Costa²⁶ untersucht in Bezug auf die krysallographischen Eigenschaften der Gefügebestandteile argentinischen Portlandzement auf trockenen Wege erhalten, deutschen Portlandzement auf nassem Wege erhalten und französischen Tonerdeschmelzzement. Durch Vergleiche von Schläfen unbehandelter Klinker und verschieden stark abgeschreckten Versuchsproben werden Schlüsse auf die chemische Natur und räumliche Anordnungen, über das Zahlenverhältnis der

¹⁸ "Die Wirkung von Borsäure auf die Klinkerung von Portlandzement," "Journ. Franklin Inst.," 209, S. 83-38, 1930.

¹⁹ "Bureau of Standards Journ. Res.," 4, S. 55-72, 1930.

²⁰ "Tonind. Ztg.," 54, S. 887-91, 1930.

²¹ "Concrete," 37, Nr. 2, S. 85-87, 1930.

²² "Journ. Soc. Chem. Ind." (Japan), Suppl. 33, 47B-49B, 1930.

²³ Ebd., 85B-87B, 1930.

²⁴ Ebd., 137B-140B, 1930.

²⁵ Ebd., 312B-315B, 1930.

²⁶ "Annales Soc. Scient.," Argentina, 109, S. 73-95, 1930.

Bestandteile in Abhängigkeit von der Abschreckungsart, gezogen. Wegen der Armut Japans an tonerdereichen Erzen versucht S. Nagai²⁷ Kalk-Tonerdezemente mit 30% Al_2O_3 und 50% CaO herzustellen. Aus solchen Zementen hergestellte Mörtelproben verloren bei Wasserlagerung an Festigkeit, bei kombinierter Lagerung nahm diese zu. Ein Zusatz von 0,5-1,0% Borax²⁸ übte einen günstigen Einfluss auf die Brenntemperatur und den Klinker aus, jedoch waren auch hier die Festigkeiten bei Wasserlagerung wegen Kalkauslaugung schlecht. In gemeinsamer Arbeit mit K. Asaoko stellt S. Nagai²⁹ synthetisch Calciumferrite und Eisenzemente her. Hydraulisch ist nur das $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, welches aber nur an der Luft erhärtet.

R. Brill³⁰ folgert aus der Identität der Debye-Spektren von erschmolzenen $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ und $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, dass beide identisch sind und ersteres nur noch freies CaO enthält. Das von Brill untersuchte Präparat besteht nach der Meinung von A. Guttman und F. Gille³¹ nicht aus $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, weil es zuerst geschmolzen und dann nicht mehr genügend lange erhitzt worden war. Nach S. Nagai und K. Asaoko³² bildet sich $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ sehr schwer, wenn nicht Aluminate und Ferrite zugegen sind.

S. Nagai und R. Naito³³ erhitzen Oxydmischungen aus $8\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$, die der Zusammensetzung des Jäneckeits entsprechen und stellen vollständige Kalkbindung fest. Das Sinterprodukt hatte nach 28 Tagen kombinierter Lagerung 49/kg/qcm.

K. Koyanagi³⁴ versucht Sphärolithe durch verschieden langsame Abkühlung aus Tonerde-Kalk-Schmelzen zu erhalten. Dies gelang ihm bei Schmelzen von der Zusammensetzung $3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$. Eine solche Verbindung wurde von G. A. Rankin bei dem Studium des Systems $\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ nicht gefunden, scheint aber nach Koyanagi doch zu bestehen. L. T. Brownmiller und R. H. Bogue³⁵ haben die Röntgenstrahlenmethode auf die Untersuchung der Konstitution des Portlandzementes angewandt. Die Untersuchung der Verbindung $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ hat gezeigt, dass diese Verbindung besteht und aus den Oxyden durch Erhitzen erhalten werden kann. CaO geht nicht in merklichen Mengen mit $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ feste Lösungen ein. Mischungen beider Oxyde, in denen 2-3 Moll. CaO auf 1 Mol. SiO_2 vorliegen, erhalten nach dem Erhitzen Gemische von $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ und γ bzw. β $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Die Verbindung $8\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ konnte weder im System $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{CaO}$ noch im Portlandzement nachgewiesen werden. Aus den Komponenten von der Zusammensetzung dieser Verbindung wurden nach dem Brande $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, β $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ und $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, bei nicht erreichtem Gleichgewicht freies CaO nachgewiesen. In technischen Klinkern wurde freier Kalk nicht gefunden, obwohl Mengen von 2,5% mit Röntgenstrahlen gut erkennbar sind. Nach dieser Methode sind folgende Mindestmengen von Krystallen erkennbar: 8% $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 15% $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 6% $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 15% $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, 2,5% MgO und 2,5% CaO .

I. Weyer³⁶ studierte die Mineralbildung von Kaolin-Kalk-Gemengen aus dem Schmelzfluss. Es wird zunächst die Existenz der Verbindungen $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$,

²⁷ "Journ. Soc. Chem. Ind." (Japan), Suppl. 33, 167B-169B, 1930.

²⁸ Ebd., 196B-198B, 1930.

²⁹ Ebd., 190B-192B, 1930.

³⁰ "Zement," 19, S. 914-915, 1930.

³¹ Ebd., 19, S. 914-915, 1930.

³² "Journ. Soc. Chem. Ind." (Japan), Suppl. 33, 315B-318B, 1930.

³³ Ebd., 256B-259B, 1930.

³⁴ Ebd., 352B-358B, 1930.

³⁵ "Americ. Journ. Science," 20, S. 241-64, 1930, und "Bureau Standards Journ. Res.," 5, S. 813-30, 1930.

³⁶ Dissertation, Kiel, 1930.

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ und $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ durch Herstellung aus chemisch reinen Stoffen und mikroskopisch und röntgenographische Untersuchungen bestätigt. Die Bildung von $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ aus synthetischen Rohmehlen setzt bei 1300°C ein. Es werden Brände mit Metakaolin ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) und Kalk im Verhältnis 1 : 3, : 9, : 10 und : 12 bei $1450 \pm 10^\circ \text{C}$ angesetzt, Brenndauer 5-6 Stunden. In Bränden mit weniger als 9 Moll. CaO auf 1 Mol. Metakaolin tritt vorwiegend $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ auf. In Gemengen mit mehr als 9 Moll. CaO ist das Dicalciumsilicat nicht mehr zu beobachten, sondern sämtliche SiO_2 ist als $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ gebunden. Das Brennen bei höherer Temperaturen hatte keinen weiteren Einfluss. Es wird röntgenographisch und durch Anfärbeversuche mit Patentblau nachgewiesen, dass der Träger der hydraulischen Eigenschaften des Portlandzementes praktisch reines Tricalciumsilicat ist, der als Alit aufgefasst wird und nicht die Fähigkeit besitzt mit $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ Mischkristalle zu bilden.

(Fortsetzung folgt.)

Die Werke des Wicking Konzerns.*

Werk Zollern in Neubeckum.—Mergel und Kalksteine bilden das Rohmaterial dieses Werkes, in dem der Abbau noch von Hand betrieben und das gebrochene Material mittels Schmalspurbahn zur Fabrik transportiert wird. Die Aufbereitung erfolgt trocken. Nach dem Vorbrechen in zwei Steinbrechern wird in zwei Trockentrommeln getrocknet und in einer Kugel- und Rohrmühle sowie einer Verbundmühle gemahlen. Das für den Schachtofenbetrieb benötigte Rohmehl wird auf vier Polysiuspressen verziegelt. Die Fabrik verfügt über drei Drehöfen, einen Ringofen und vier Schachtofen. Die Klinker werden ebenfalls in einer Kugel- und Rohrmühle sowie einer Verbundmühle gemahlen. Die Klinkerhalle fasst 6000 t, die Zementsilos fassen 4500 t.

Werk Lengerich III in Lengerich.—Das Rohmaterial wird aus dem Gebirgszug des Teutoburger Waldes an seinen westlichen Ausläufern gewonnen. Es handelt sich dort um obere Kreideformation und zwar um Plaener-Cenoman-Kalke und Mergel. Das Material wird gesprengt, zerkleinert und mit Lokomotivbetrieb zum Werk geschafft. Es findet Etagenabbau statt. Die gesamte Kraft wird heute von der elektrischen Ueberlandzentrale mit 30.000 Volt Spannung geliefert. Durch Transformieren im Werk wird der Strom auf 500 Volt Spannung reduziert. Die Dickschlamm aufbereitung erfolgt über ein Doppelwalzwerk und zwei Nass-Kugelrohrmühlen. Der Dickschlamm wird durch eine Pumpe in drei Vorratsbottiche aus Eisenbeton transportiert; hier findet Mischung durch Druckluft statt. Der Schlamm wird in Kruppschen und Humboldtschen Drehöfen gebrannt. Die Klinker kommen durch ein Schrägbecherwerk in die Klinkerhalle und werden mittels Verbundmühlen mit Stahlkugelfüllung gemahlen. Der fertige Zement lagert in Eisenbetonsilos, an deren Auslaufstutzen Sackpackmaschinen angeschlossen sind.

Werk Klasberg in Beckum.—Kalksteine und Kalkmergel dienen als Ausgangsmaterialien, die mit Löffelbagger gefördert und mit Lokomotivbetrieb zur Fabrik geschafft werden. Flammrohrkessel mit Ueberhitzern und Verbunddampfmaschinen mit Kondensation, sowie Anschluss an die elektrische Ueberlandzentrale erzeugen die im Werke benötigte Kraft. Die Trocken-

* Der vorhergehende Artikel ist in der Ausgabe von September 1931 erschienen.

aufbereitung arbeitet mit Trockentrommeln mit Gegenstromheizung. Die Vorzerkleinerung des Rohmaterials geschieht mit Backen- und Titanbrecher; die Feinmahlung wird durch eine Verbundmühle bewirkt. Das Rohmehl lagert in Zzellensilos aus Eisenbeton und wird mittels Anfeuchtungsschnecke auf Drehtischpressen verziegelt. Das Brennen erfolgt in automatischen Grueberschen Drehrostöfen. Der Klinker wird ebenfalls durch Verbundmühlen zu Zement vermahlen. Die Packerei besteht aus Zzellensilos in Eisenbeton, aus denen automatisch abgezogen wird.

In den Jahren 1929 hat sich die Wickinggesellschaft weitere bisher selbstständige Werke angegliedert. Es ist in diesen Fällen zumeist so verfahren worden, dass das Kontingent des betreffenden Werkes im Rahmen des Kartells auf die bestehenden anderen Zementfabriken des Konzerns übertragen wurde, und dass den fraglichen Gesellschaften nur die Kalkerzeugung verblieb, sie aber für den Ausfall der Zementfabrikation von den Wickingwerken pauschal entschädigt wurden.

Dieser gewaltige unter der Leitung des Generaldirektors Dr. ten Hompel stehende Konzern hat sich seit einigen Jahren neben den einzelnen Fabriklaboratorien auch ein eigenes Forschungsinstitut zugelegt, das unter der Leitung von Dr. K. Biehl steht. Fast sämtliche Wickingwerke sind aus früher schon bestehenden Kalkwerken entstanden, und eine ganze Anzahl erzeugt noch heute neben Portlandzement auch Luft- und Wasserkalk. Mehrere Werke auch zur Herstellung von hochwertigem, frühhochfestem Zement übergegangen sind.

Rumänische Normen für Portland und Hochwertigen Zement.

DES Normenamt des rumänischen Handels- und Industrieministeriums hat soeben Normen für Portland- und hochwertigen Zement erlassen, die sich im wesentlichen an die deutschen Normenvorschriften anlehnen (vgl. CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, 1930, Nr. 12, Seite 1655/1657), sich von diesen aber in folgenden Punkten unterscheiden:

(1) VOLUMENGEWICHT.

		Portlandzement	hochwertiger Portlandzement
eingelaufen	... ..	980 – 1200 g	980 – 1200 g
eingerrüttelt	... ..	1600 – 1800 g	1600 – 2000 g

(2) RAUMBESTÄNDIGKEITSPRÜFUNG.

Es sind die Darr- und Kochprobe vorgeschrieben.

(3) MAHLFEINHEIT.

Der Rückstand auf dem Siebe von 4900 Maschen/qcm darf nicht mehr als 18% betragen.

(4) FESTIGKEITEN.

Für hochwertige Portlandzemente ist auch eine Festigkeitsprüfung nach 7 Tagen vorgeschrieben. Die Mindestfestigkeiten sollen betragen:

Zugfestigkeit (1 : 3)	35 kg/qcm.
Druckfestigkeit (1 : 3)	300 kg/qcm.

Eine vergleichende Untersuchung der Portlandzementindustrie in den Vereinigten Staaten von Amerika, Kanada und Gross - Britannien.—VIII.

von HAL GUTTERIDGE.

Staubsammlung.—Die wichtigsten Stellen, an denen in einer Zementfabrik Staubabscheideanlagen im allgemeinen angewendet werden können, sind die Abteilungen des Brechens, der Rohmehlmühle, der Kohlenmühle, der Klinkermühle und der Abpackung von Zement. Bei der Abscheidung von Staub aus Abgasen treten besondere Verhältnisse auf, die nachher behandelt werden. Die Verfahren der Staubabscheidung lassen sich wie folgt teilen: Zentrifugalmethode, Filter, Schwere, elektrische Abscheidung, innere Wirbelerzeugung, Siebe, Filtertücher, Staubkammern, Abscheider.

Zentrifugalseparatoren.—Unter den verschiedenen Arten der allgemein gebräuchlichen Zentrifugalseparatoren existiert der Zyklonabscheider, bei dem die Aussonderung dadurch bewirkt wird, dass die Staubeilchen infolge der Zentrifugalkraft tangential aus dem Gasstrom herausgeschleudert werden. Da die Leistungsfähigkeit des Zyklonabscheiders im direkten Verhältnis zur Tangentialgeschwindigkeit und im indirekten Verhältnis zum Halbmesser schwankt, folgert, dass je grösser die Geschwindigkeit des eintretenden Gases ist, um so grösser die Leistung für einen bestimmten Halbmesser sein wird, oder dass je grösser der Halbmesser ist, um so kleiner die Leistungsfähigkeit bei einer festliegenden Geschwindigkeit des eintretenden Gases sein wird.

Praktische Ueberlegungen begrenzen die Geschwindigkeit der eintretenden Gase, weil die zur Erfüllung dieser Bedingung erforderliche Kraft und andererseits die Grösse des Separators dergestalt sein muss, dass das dem Separator zugeführte Gasvolumen erschöpfend behandelt wird. Es wird ein Mittel gewählt, das jeder besonderen Lage am besten gerecht wird.

Filterseparatoren.—Wenn staubbeladene Gase direkt ein Filter passieren, so wird der Separator als Filterabscheider bezeichnet. Das Filter besteht gewöhnlich aus Stoff und lässt sich auf Gase mit sehr geringem Feuchtigkeitsgehalt und niedriger Temperatur anwenden. Um zu hohen Druck in dem System zu vermeiden, sind Vorrichtungen zu treffen, um den Filterstoff regelmässig entweder durch Umkehrung der Stromrichtung oder durch Schütteln des Filtertuchs zu reinigen.

Schwerkraftseparatoren.—Diese Separatoren besitzen gewöhnlich die Form von Staub-oder Absetzkammern. Sie erheischen einen beträchtlichen Platz, eine grosse Kapazität per behandeltem Einheitsgasvolumen, und sie arbeiten mit geringem Wirkungsgrad. Um eine einigermaßen wirksame Abscheidung zu erzielen, muss die Gasgeschwindigkeit auf 30 m per Minute reduziert werden, und bei einem grossen Gasvolumen muss die Querschnittsfläche, wenn solche niedrige Geschwindigkeit erhalten werden soll, sehr gross sein, denn die Gasgeschwindigkeit muss von etwa 300 m per Minute reduziert werden.

Elektrische Abscheider und innere Wirbelseparatoren.—Einzelheiten dieser Separatoren werden nachher unter „Abgasstaubsammler“ behandelt. Ausser zur Abscheidung von Staub aus den Abgasen werden diese Separatoren zur Staubsammlung bei Gesteinstrocknern verwendet.

Es gibt einen grossen Spielraum für verschiedene Apparaturen. Ehe jedoch eine Auswahl getroffen werden kann, müssen alle Fälle gesondert untersucht

und die so erhaltenen Werte sorgfältig geprüft werden. Es bestehen gewisse grundlegende Bedingungen, die Type und Grösse der für jeden Fall geeignetsten Apparatur bestimmen. Die wichtigsten dieser sind folgende: (1) Charakteristika des Staubs; diese bestehen aus Form, Mahlfineinheit und Dichte; (2) Volumen und Temperatur der Gase; (3) Staubgehalt der Gase; (4) relativer Feuchtigkeitsgehalt der Gase; (5) chemische Analyse der Gase.

Um ein Beispiel wie Trockentrommeln für Rohmaterial herauszugreifen, kann das Gestein in dem einen einen niedrigen und in dem anderen Falle einen hohen Feuchtigkeitsgehalt besitzen. In dem einen Falle kann das getrocknete Gestein eine fein kristalline und in dem anderen Falle eine flach schuppige Struktur haben. Einmal kann ein Trockner verwendet werden, bei dem der grösste Teil der Wärme verwertet wird mit dem Ergebnis, dass die Temperatur der Abgase niedrig ist; im anderen Falle dagegen kann die Temperatur der austretenden Gase hoch sein. Einmal kann der Staubgehalt des Gases auf Grund der Gesteinsstruktur niedrig sein, im anderen Falle kann er hoch sein. Daher braucht das, was sich in dem einen Falle als wirksam erweist, nicht für einen anderen Fall angemessen sein.

Auf einem Werk in Pennsylvanien arbeiten sechs „Vortico“ Staub-sammler der Dust Recovery Inc. bei Gesteinstrocknern. Jeder Abscheider bewältigt etwa 335 cbm in der Minute und fängt stündlich 450 kg auf. Die durchschnittliche Betriebswirksamkeit wird mit 94% angegeben, während die Siebanalyse des Staubs folgendes ergibt:

1% Rückstand auf dem Siebe von 1600 Maschen/qcm,

1,5% Durchgang durch das Sieb von 1600, aber Rückstand auf dem Siebe von 6400 Maschen/qcm,

3,5% Durchgang durch das Sieb von 6400, aber Rückstand auf dem Siebe von 14000 Maschen/qcm,

94,0% Durchgang durch das Sieb von 14000 Maschen/qcm.

In einer in Kansas belegenen Fabrik, in welcher durch Abhitzeesselgase Gestein getrocknet wird, wird der Staub aus 560 cbm per Minute an zwei Stellen serienweise abgeschieden. Die Abgase des Trockners werden durch einen Separator gesaugt, der den Grobstaub durch ein Gebläse absondert, das die Gase zu einem Staubsammler transportiert, um den Feinstaub niederzuschlagen. Durch die doppelte Behandlung der Gase wird ein hoher Grad der Wiedergewinnung erreicht. Diese Anlage ist durch die Clark Dust Collecting Company ausgeführt. Eine Aufnahme einer anderen Anlage dieser Firma, die zwei Abscheider zeigt, von denen jeder per Minute 1699 bis 1982 cbm staubbeladene Gase behandeln kann, ist auf Abb. 1 (Seite 1129) zu sehen.

In Gross-Britannien gibt es keine nach dem Trockenverfahren arbeitende Zementfabriken, und deswegen sind dort keine Gesteinstrockner mit ihrer ergänzenden Ausrüstung zur Staubabscheidung notwendig. Da aber diese Artikel nach ihrer Ueberschrift auf die tatsächlich in den drei Ländern verwendeten Apparaturen begrenzt sind, müssen Anlagen, welche von englischen Fabrikanten für Uebersee hergestellt werden, ausgeschlossen werden.

Abb. 2 (Seite 1130) zeigt das System der Visco Engineering Company in seiner Anwendung auf die Abscheidung von Zementstaub aus Klinkermühlen. Der Staubsammler besitzt Saugtyp; das Hauptgebläse arbeitet nur mit gereinigter Luft, und der Staubsammler besteht aus einem Blechgehäuse, das in Kammern geteilt ist, von denen jede Filterrohre aus besonders gefertigtem Material enthält, um den unfühlbaren Staub wiederzugewinnen. In vorher festgelegten Intervallen ist jede in Rotation befindliche Kammer von den benachbarten durch den mechanischen Abschluss des Hauptschiebers der

Kammer isoliert, worauf die Rohre in der durch Niederlassen geschlossenen Kammer mechanisch geschüttelt werden. Reine Luft von einem gesonderten Gebläse wird durch die Poren des Filtermaterials gedrückt in entgegengesetzter Richtung zum Luftstrom bei normal arbeitenden Verhältnissen. Der wiedergewonnene Staub fällt in einen Trichterbehälter, aus dem er durch eine Schnecke abgezogen wird.

Eine in Gross-Britannien durch die Sturtevant Engineering Company ausgeführte Staubsammelungsanlage (Abb. 3, Seite 1132) verarbeitet stündlich 6000 cbm Luft aus Klinkermühlen. Der in der Luft durchschnittlich enthaltene Staub beträgt 10 g per cbm und wird zunächst durch einen Zyklon gesaugt und von hier zu einem automatisch arbeitenden Filter geschafft. Beide Aggregate arbeiten mit Saugzug. In häufigen Intervallen, und in Rotation befindlich, wird jede Sektion automatisch durch Schliessen des Austrittsventils jeder Sektion ausgeschaltet, und gleichzeitig wird diese Sektion zur Aussenluft hin geöffnet, wodurch ein umgekehrter Luftzug durch die Schlauchstaubsammler erzeugt wird, wobei diese automatisch ausgeschüttelt werden.

Die Menge des erzeugten Staubs hängt von den Rohmaterialien ab und von dem angewandten Verfahren. Einige Gesteine wie z.B. der „Zementstein“ erzeugen gewöhnlich beim Sprengen und Brechen eine erhebliche Staubmenge infolge dieser Arbeitsvorgänge. Andererseits entsteht aus Kreide oder Mergel auf der Aufbereitungsseite praktisch überhaupt kein Staub.

Ein in Pennsylvanien belegenes, Zementstein verarbeitendes Werk verwendete im Steinbruch während des Sommers ein Verfahren zur Verminderung der Materialverluste in Form von Staub, indem es einen Gelenkschlauch benutzte, um das Material zu benetzen. Es war geschätzt worden, dass dadurch wenigstens 2% Material gespart wurden, und durch Verwendung des Materials in dieser angefeuchteten Form erzeugten die Hammermühlen weniger Staub. Es kann ein Beispiel für eine sonst modern und wirtschaftlich betriebene Fabrik angeführt werden, bei der im Brechergebäude derart viel Staub war, dass es unmöglich war, durch das Gebäude hindurch zu sehen bei einer Entfernung von nicht mehr als 10 m. Der Staubgehalt war derart hoch, dass nur beim Hindurchgehen durch das Gebäude Hustenreiz entstand. Diese Verhältnisse waren schlecht und daher unwirtschaftlich.

Ein typisches wirksames Staubsammlungssystem im Brechergebäude besteht in einer zentralen Staubentziehungsanlage, die zu jeder Stelle, an der Staub entsteht, führt. Der Staub wird abgezogen am Entleerungsende des Kreiselbrechers, weiter am Rohmaterialseparator und auch am Abgabende der Nachmühle. Bei gewissen Materialien mit starken Staubabsonderungen werden auch an den Elevatoren Stellen vorgesehen, um Staub abzu ziehen. In einigen Fällen wird der Staub von Zeit zu Zeit auf den Transporteur abgegeben, der den gebrochenen Kalkstein zum Lager fördert, oder er wird direkt den Mühlen aufgegeben. Das erstere ist beim Nassverfahren üblich und das letztere Verfahren, wenn trocken gearbeitet wird, da bei diesem kurzen Kreislauf die Kosten für Wiedergewinnung von Teilen des Staubs aus den Trocknern vermieden wird. Ueberdies würde die Wärme hierfür unnütz aufgewendet.

Ein anderes System der Staubsammlung, das in Verbindung mit Klinkermahlung in Ohio angewendet wird und auch auf einem Werke im Staate Newyork installiert ist, ist das „Sly“-System. Dieses System kühlt den Zement, abgesehen davon, dass es das Klinkermahlgebäude staubfrei erhält, überdies von 150°C, mit welcher Temperatur er die Mühle verlässt, auf 100°C ab. Der aus den Mühlen kommende Zement fällt eine viereckige vertikale Schütte herunter, an deren Seiten sich zur Einführung von Luft Luftschlitze

befinden. Ein Ventilator ist mit dem System verbunden und so angeordnet, dass er kühle Luft durch die Schlitzte saugt, die im Gegenstrom durch den gesamten Zement streicht. Der Teil des Zements, den die Luft mit sich führt, wird in einem Staubsammler abgeschieden, von wo er dem Hauptzementstrom wieder zugeführt wird, mit welchem er in Schneckentransporteuren innig gemischt wird.

Eine auf einem Werk Gross-Britanniens zur Kühlung des Zements, der^olose auf einem Bandtransporteur 350 m weit transportiert wird, verwendete Methode besteht in einer Reihe kleiner, in häufigen Zwischenräumen fest angebrachter Schaufeln längs des Transporteurs, die den Zement kontinuierlich umwenden und den heisseren Teil der Luft aussetzen.

Beispiele für Mahlanlagen in den Vereinigten Staaten und Gross-Britannien werden auf den Abb. 4 und 5 (Seite 1133 und 1134) gezeigt. Abb. 4 (Seite 1133) zeigt vier Verbundmühlen und deren elektrische Antriebe, ausgeführt von Allis-Chalmers in Alabama (Ver. St.) Jede der $12,20 \times 2,50 \times 2,10$ m messenden Mühlen wird von einem 800 PS starken Synchronmotor mittels einer magnetischen Kupplung und Zahnkranzgetriebe getrieben. Abb. 5 (Seite 1134) zeigt die Antriebsvorrichtungen von vier Verbundmühlen in Gross-Britannien, die bei 11 m Länge einen Durchmesser von 2,20 m besitzen. In diesem Falle werden die vier Crompton-Parkinson-Motore durch völlig gekapselte Reduktionsgetriebe in direkter Verlängerung der Mühlenachse durch den Zapfen getrieben. Diese Aufnahmen sind in verschiedener Hinsicht typisch für die Betriebsunterschiede in den Vereinigten Staaten und in Gross-Britannien. In den Vereinigten Staaten sieht man gewöhnlich das elektrische Antriebsgetriebe im gleichen Raume wie das Mühlenaggregat, während in Gross-Britannien die elektrische Ausrüstung im allgemeinen von den Mühlen durch eine staubdichte Wand getrennt ist. In der letzteren Anordnung liegt ein grosser Vorzug, denn die elektrische Ausrüstung kann unter idealen Bedingungen arbeiten, da nicht nur der Mühlenstaub völlig ausfällt, sondern die Maschinen auch unter den besten Bedingungen konstanter Temperaturen laufen können. Dieser Raum ist gewöhnlich hermetisch verschlossen, und es ist Vorsorge für Lüfterneuerungsapparaturen getroffen.

Ein weiterer Unterschied in der Praxis beider Länder besteht in der Verwendung magnetischer Kupplungen für Mühlenantriebe auf Zementfabriken in den Vereinigten Staaten. Die magnetische Kupplung, über die in dem Artikel „Mahlen“ berichtet wurde, sieht zusätzliche Regulierung des Mühlenbetriebes durch stufenweise Einschaltung und momentane Ausschaltung zwischen Antrieb und getriebenem Aggregat vor. Magnetische Einkupplungen werden in Gross-Britannien verwendet in anderen Industrien, besonders in der Gumminindustrie, wo momentanes Anhalten der Walzen wichtig ist. Dieses wird durch Druckknopfsteuerung und selbsttätiges Bremsen erreicht, und bei magnetischer Kupplung kann eine Ausklinkvorrichtung benutzt werden, um den Stromkreis zu unterbrechen, und die Bremse zu betätigen. Auf diese Weise braucht die Bremse nicht das Kraftmoment der Motorenarmatur zu absorbieren. Eine weitere Unterscheidung stellt sich bei diesen beiden Aufnahmen in der Wahl des Zentralzapfenantriebs oder des Peripherietriebs, die in dem Artikel „Mahlen“ erwähnt sind, heraus. In diesem sind die Vorteile des Zapfenantriebs, wie er in Gross-Britannien bevorzugt wird, über den Zahnkranzantrieb, der in den Vereinigten Staaten in so ausgedehntem Masse Verwendung findet, diskutiert.

Abscheidung des Abgasstaubes.—Dort, wo es nötig ist, Abgasstaubsammler aufzustellen, ist der Wert des gesammelten Staubs ein Punkt, der auf der Kreditseite der Abscheidungsbilanz erscheinen wird. In den Vereinigten Staaten existieren etwa 22 elektrische und mechanische Abscheidungsanlagen

zur Sammlung von Abgasstaub. In Kanada ist eine grosse Zementfabrik dabei, mechanische Abgasstaubsammlungsanlagen zu installieren, und es ist interessant festzustellen, dass dieses Werk, das sich im Zentrum einer hauptstädtischen Nachbarschaft befindet, ebenfalls vom Trockenprozess zum Nassverfahren übergeht, um den Staub zu reduzieren.

In Gross-Britannien gibt es keine elektrischen oder mechanischen Abgasstaubseparatoren, hauptsächlich wegen der Tatsache, dass alle Werke Nassfabriken sind, und weil die mittlere Länge der Oefen grösser ist als in den Vereinigten Staaten.

Der elektrische Lodge-Cottrell-Abscheider, von denen 18 in den Vereinigten Staaten Abgasstaub sammeln, besteht aus einer Anzahl gegenüberstehender Elektrodenaggregate, deren eine Gruppe,—die Entladungselektroden,—, so gestaltet ist, dass leichter Glimmerscheinungen entstehen, und deren andere Gruppe,—die Abscheidungselektroden,—, so geformt ist, dass Entladung verhindert oder auf ein Minimum reduziert wird. Die Entladungselektrode ist auf Isolatoren montiert, und sie ist gewöhnlich negativ geladen mit Rücksicht auf die Erdung, und die Abscheidungselektrode ist geerdet. Die zwischen den Elektroden aufrechterhaltene Potentialdifferenz hängt vom Elektrodenabstand und anderen Umständen ab, doch wird bei Anwendung auf Zementanlagen gewöhnlich 50000 Volt Spannung genommen. Es wird gleichgerichteter Strom zugeführt durch Gleichrichten von hochgespanntem Wechselstrom. In dem Masse, wie die staubhaltigen Gase zwischen den Elektroden passieren, erfahren die Teilchen eine Ladung und werden aus den Gasen an den Elektroden abgeschieden, an denen sie sich sammeln können. Sie werden dann durch mechanisches Klopfen abgeschüttelt in die Behälter, die sich unter dem Elektrodensystem zur Staubsammlung und Rückführung zum Ofen befinden. Das Klopfen der Elektroden erfolgt allgemein einmal per Schicht. Um Staub von Drehöfen abzuschneiden, hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, dass anstelle der Anfertigung von Sammelelektroden aus Metall diese aus besonders präpariertem Portlandzementbeton mit Einlagen aus elektrisch geerdeten Metallbewehrungen von kleinem Durchmesser hergestellt werden. Diese sind so angeordnet mit Rücksicht auf die Entladungselektroden, dass in Reihen der grösste Widerstand bei kleinstem Luftschlitz und der geringste Widerstand bei grösstem Luftschlitz erreicht wird. Die Grösse dieser Plattenelektroden beträgt 2 m Breite, 3,75 m Höhe und 5,1 cm Stärke. Der Vorzug dieser Elektrode, die als gestufte Widerstandselektrode bezeichnet wird, besteht in ihrem inneren Widerstand, der Lokalisierung von Sprühscheinungen verhindert. Die normale Entladung breitet sich aus und erstreckt sich über ein grösseres elektrisches Feld, wodurch eine grössere Leistung der Gasbehandlung per Einheitsvolumen des Abscheiders erreicht wird und die Grösse des Abscheiders zur Behandlung einer spezifischen Menge reduziert wird. Sie lässt den Staub in grösserem Umfange auf der Elektrode absetzen ohne Einbusse an Wirkungsgrad, und dadurch werden die Arbeitskosten reduziert. Die Verhinderung der Entladungslokalisierung reduziert die Kraftkosten. Es wird behauptet, dass mit diesen gestuften Widerstandselektroden zur Behandlung von 2800 cbm Gas in der Minute bei einem Mindestwirkungsgrad von 90% der erforderliche Raum 1000 cbm, die erforderliche Kraft 10 Kilowatt und die Arbeit 12 Arbeitsstunden täglich betragen.

Die aus einem Ofen entweichende Staubmenge ist in grossem Masse abhängig von der Ofenlänge; je länger der Ofen, um so geringer ist die Staubmenge und umgekehrt. Eine Zementfabrik in Pennsylvanien, die mit 8 Abhitzekeesseln nach dem Trockenverfahren mit einer täglichen Leistungsfähigkeit von 7800 Fass arbeitet, besitzt neun je 41 m lange Oefen. Alle diese

Verhältnisse setzen die höchste Staubmenge in den Abgasen voraus, und zur Abscheidung dieses Staubs ist ein Cottrell-Abscheider eingebaut. Die Leistungsfähigkeit der Anlage zur Staubgassammlung beträgt per Minute 11000 cbm, die in sechs Aggregaten erreicht wird. Die Sammelelektroden sind aus Betonplattenkonstruktion, und der mit 440 Volt Spannung geleferte elektrische Strom wird auf 50000 Volt gesteigert und dann transformiert. Diese Abscheider werden in Verbindung mit einer Abhitzekeßanlage verwendet und erhalten das Gas mit einer Temperatur von $215\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$. Auf diesem Werke befindet sich auch eine Cottrell-Anlage, welche den Teil der Ofengase reinigt, die zum Trocknen der Rohmaterialien zusammen mit dem Rohmaterialstaub verwendet werden. In dieser Anlage, die eine Kapazität von 2000 cbm Gas per Minute besitzt, befinden sich drei Aggregate mit einem Strom von 440 Volt Spannung, der auf 50000 gesteigert und dann transformiert wird.

Abb. 6 (Seite 1136) zeigt den Betriebsraum einer Cottrell-Anlage auf einer Zementfabrik Ohios, die nach dem Nassverfahren arbeitet und vier Abhitzekeß besitzt. Sie besteht aus vier Abscheidungsaggregaten, von denen jedes Aggregat zwei Abschnitte breit und jeder Abschnitt zwei Gruppentransformatoren lang ist. Diese bestehen aus gestuften Widerstandselektroden von 3,75 m Höhe und 2 m Länge. Die Platten befinden sich in 15 cm Entfernung gegenüber mit vertikalen Entladungselektroden zwischen sich. Es sind in jedem Abschnitt 13 Elektrodenleitungen vorhanden. Jedes Doppelaggregat besitzt einen elektrischen Apparatesatz zur Energieaufladung, und ein fünfter elektrischer Satz dient als Reserve. Diese Anlage besitzt eine Leistungsfähigkeit zur Gasbehandlung von 19000 cbm per Minute bei einer Temperatur von 200°C , und sie sammelt etwa täglich 90 t Staub mit einem Wirkungsgrad von mehr als 95%. Die erforderliche Kraft beträgt ca. 20 Kilowatt, und ein Mann ist per Schicht erforderlich.

Ein jetzt auf einer kanadischen Fabrik eingebautes mechanisches Staubsammelungsaggregat ist als „Vorticose“, gebaut von der Firma Dust Recovery Inc., bekannt. Abb. 7 (Seite 1137) zeigt eine Aufnahme dieses in einem späteren Stadium der Errichtung. Diese Anlage besteht aus zwei Abscheidern für sieben Öfen; sie ist konstruiert, um ein Gesamtgasvolumen von 8000 cbm per Minute zu bewältigen, sie arbeitet mit natürlichem Zug. Das System ist beschrieben als ein Abscheider, der auf dem Prinzip des inneren Wirbels basiert, ähnlich den bei Wirbelwinden auftretenden Bedingungen, bei denen die gesamten Staubpartikel in eine zentrale Wirbelsäule geschleudert werden und nur zerstreut werden, wenn die Wirbelwirkung aufhört. Der Sammler umfasst eine Zahl von genormten 50×30 cm messenden Sammlungselementen und Auffangvorrichtungen so, dass die eintretenden Gase die Sammlungselemente in Form eines umgekehrten V erreichen. Längs der Seiten des V sind Öffnungen, die, mit passenden Prallflächen versehen, den Hauptanteil der Gase sofort passieren lassen doch mit plötzlicher Richtungsänderung. Die restlichen Gasanteile zusammen mit den Stauteilchen, die wegen ihres Beharrungsvormögens ihre Richtung nicht so bereitwillig ändern, werden weiter geführt in gleichmäßig abnehmender Geschwindigkeit, bis sie an der Spitze des V ankommen, wo sich eine verhältnismässig ruhige Luft vorfindet und der Staub abgeschieden wird. Dieser Staub fällt herunter in die Trichterbehälter. Ein Klopffgetriebe ist vorgesehen, um die Abgabe des Staubs von den verschiedenen Oberflächen zu beschleunigen. Die Gase passieren von den ersten Sammlungselementen zu einer Zahl ähnlicher Sammlungselemente in Reihenform, deren Zahl von den Eigenschaften des jeweiligen Gases abhängt. Es gibt ausser dem Klopffgetriebe, das sich ausserhalb des Abscheiders befindet, keine beweglichen Teile.

Auf einem Werke in Alabama mit zwei kombinierten Öfen und Kühlern

(3,40 und 3 m \times 105 m) besitzen die „Unax“-Kühlrohre den Typ der Doppelzylinder, bei dem der Ofen durch eine zweite Reihe von Rohren umgeben ist und der Klinker nach Passieren des inneren Rohrs längs durch das äussere Rohr zurückkehrt. Hier werden die Abgase dann zunächst eine Stahlblechkammer heruntergestürzt, um den Staub zu sammeln und dann einen Fuchs hinaufgeführt, der in den Schornstein mündet. Der Staub wird aus den unterhalb angeordneten Trichterbehältern mit Schnecken abgezogen und der Ofenaufgabe zugeführt, die er beim Eintritt in den Ofen trifft. Ausser der zweiten, direkt mit dem Kühler verbundenen Reihe ist eine Einrichtung eingebaut, um die Temperatur der Abgase, die durch das Zuggebläse treten, zu kontrollieren. Die Ventilatoren sind so konstruiert, dass sie keine höheren Temperaturen als 370°C aushalten können. Damit sie keine höhere Temperatur trifft, ist eine Frischluftzufuhr eingebaut. Diese gesamte, selbsttätig arbeitende Ausrüstung, die von F. L. Smidth & Co. konstruiert wurde, besteht aus Thermometern, die elektrische Kontakte auslösen, wenn die Temperatur gewisse obere oder untere Grenzen erreicht hat. Die Kontakte setzen ihrerseits Relais in Tätigkeit, die auf ein solenoidreguliertes Dreiwegventil wirken, das Wasser dem oberen oder unteren Teile eines hydraulisch arbeitenden Stempels zuführt, der seinerseits wieder die Luftzufuhr in Betrieb setzt. Lichtzeichen auf der Schalttafel des Brennerstandes zeigen das richtige Funktionieren der Anordnung an.

Ein Beispiel für eine andere Type der Staubsammelanlagen für Ofenabgase kann man auf einer Zementfabrik in Pennsylvanien sehen, wo die verwendete Anlage in Gross-Britannien entworfen wurde. Die Staubsammelungsapparatur ist der Firma Davidson & Co., Ltd., Belfast patentiert, und sie wurde durch die American Blower Co. eingebaut. Ihre Betriebsweise besteht aus der Erzeugung einer richtigen zyklonartigen Wirkung, die den von den Gasen getrennten Staub auf den Boden des Zyklons zwingen, von wo er abgezogen und mit dem Schlamm wieder vereinigt wird. Der Ofen besitzt einen Durchmesser von 3,50 m bei einer auf 4,50 m erweiterten Zone und einer Länge von 78 m. Der 4,50 m Durchmesser besitzende Teil ist 12,75 m lang und beginnt 11,25 m vor dem Befeuerungsende. Die erweiterte Zone ist die Kalzinierungszone, und sie soll vollkommene Kalzinierung bewirken sowie ein gleichmässigeres Erzeugnis liefern, als es mit Ofen von Normalgrösse möglich ist. Dieser Ofen hat keinen Abhitzeessel und der Staubsammler ist direkt mit dem Ofenabsaugeventilator verbunden, der eine Kapazität von 3800 cbm per Minute bei einer Temperatur von 370°C besitzt. *(Fortsetzung folgt.)*

Die vorhergehenden Artikel dieser Reihe von Abhandlungen sind in den Ausgaben von November 1930, Januar, Februar, April, Mai, Juli und September 1931 erschienen.

Die spanische Zementindustrie im Jahre 1930.

DER beratende Ausschuss, der in Spanien den Verkehr zwischen der Regierung der neuen Republik und der Zementindustrie regelt, hat einen zweiten Bericht veröffentlicht, welcher sich mit der Tätigkeit der spanischen Zementindustrie im Jahre 1930 befasst. Erzeugung, Verkäufe und Verbrauch von Zement werden im einzelnen behandelt. Einige kolorierte Karten vermitteln ein sehr klares Bild der Zementerzeugung, des Exports und des Imports der wichtigsten Länder der Welt. Eine Karte von Spanien zeigt die Lage sämtlicher Zementfabriken und weist die Gebiete nach, die durch jede Fabrik ausschliesslich der 20 Peseten per t überschreitenden Transportkosten vom Werk zur Baustelle beliefert werden können. Eine Tafel zeigt sämtliche Warenzeichen der in Spanien Zement erzeugenden Gesellschaften, und der Bericht schliesst mit einigen Aufnahmen öffentlicher Arbeiten und der neuen in Cordoba belegenen Fabrik der „Asland“-Gesellschaft.

Luftfilter.

DAS auf Abb. 1 (Seite 1139) gezeigte, in Verbindung mit fünf Rohrmühlen in Deutschland arbeitende „Intensiv“-Luftfilter verwendet keine Wasserkühlung, sondern benutzt den durch den Filterventilator erzeugten Luftsaugzug. Dieses Verfahren soll die Leistung der Mühle um ca. 10% steigern, da das mehlfeine Material im Luftstrom suspendiert bleibt, und zum Filter gelangt, während die gröberen Partikel zur weiteren Vermahlung zurückbleiben. Der so wiedergewonnene Staub wird kontinuierlich und automatisch der Aufgabeschnecke der Mühlen zugeführt und der Gesamtmenge wieder zugemischt.

Abb. 2 (Seite 1140) zeigt ein weiteres Filter der gleichen Bauart, das Staub aus einer Zementmühle in einem Werk behandelt, auf dem Eisenportlandzement hergestellt wird. Bei diesem besonderen Werk sind sämtliche, Staub entwickelnden Maschinen, einschliesslich des Ofens an eins dieser Filter angeschlossen. Nach zwölfmonatlichem Betrieb, wobei es gelegentlich wochenlang ununterbrochen lief, soll keines der Schlauchfilter, die aus erstklassiger schottischer Wolle angefertigt sind, irgend ein Zeichen der Abnutzung oder Beschädigung aufgewiesen haben. Die den Ofen verlassenden Gase besitzen eine Temperatur von 350° C und enthalten Schwefel und Asche aus der Kohle, Zementstaub, Feuchtigkeit usw., welche dort die Schlauchfilter beschädigen würden, wo diese nicht unter ständiger Kontrolle sind.

Diese Art von Anlagen ist als Saugtyp bekannt. Der zwischen Schornstein und Filter eingeschaltete Ventilator saugt die heissen Ofengase zunächst durch zwei Ljungstrom-Kühler von grossem Durchmesser. Die Kühler rotieren langsam in horizontaler Lage; sie absorbieren 200 bis 230° C, worauf die Gase das Filter mit einer Temperatur von 100 bis 120° C erreichen und passieren. Sie werden dann durch den Schornstein an die Luft gesaugt. Die Gase befinden sich so stets unter Kontrolle und werden automatisch durch die Schläuche geleitet, die sich in den einzelnen Abteilungen des Filters befinden. Der in den Gasen enthaltene Staub fängt sich im Innern der Schläuche, wird dann automatisch aus dem Filter abgegeben und mittels eines Schnecken-transporteurs nach jeder gewünschten Stelle geleitet. Kleinere, in der Nähe der Kühler platzierte Ventilatoren blasen atmosphärische Luft von 15° C durch diese. Diese Luft nimmt etwa 200° C der in ihnen enthaltenen Temperatur auf; sie wird durch Rohrleitungen Trockentrommeln zugeführt, wo sie dazu dient, die gesamten Rohmaterialien des Zements zu trocknen, bevor diese dem Drehofen aufgegeben werden. Es wird auf diese Weise neben der Abscheidung des Staubs eine Brennstoffersparnis erreicht.

Diese Filter sind eine Spezialität der Firma Intensiv Filter Co. in Langenberg (Rhld.), die Hunderte von ihnen auf Zementfabriken des kontinentalen Europas montiert hat; einige wenige dieser Filter arbeiten auch in England, wo sie den Staub von Packmaschinen, beschickte Silos, Zinkstaub usw. durch ein pneumatisches System behandeln.

Umwandlung der Masse bei den Uebersetzungen.

Bei allen übersetzten Artikeln sind die Gewichts- und Masseinheiten angenähert in englische oder metrische Einheiten umgewandelt.

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

EL CEMENTO Y SU FABRICACIÓN.

SECCIÓN ESPAÑOLA

Reseña de los progresos del Cemento en el año 1930.—I.

Por OTTO FR. HONUS.

Análisis.

J. BASSO OLIVA¹ ha combinado, para la determinación rápida óxido férrico del cemento, el método siguiente: Valiéndose de buretas automáticas se efectúa la valoración por medio del TiCl_3 , conservado en hidrógeno. Se deslien 0,5 g. de cemento en 20 o 30 cm^3 de agua y 10 cm^3 de ClH concentrado; se calienta hasta conseguir la disolución, se diluye con 70 cm^3 de agua, se añade KMnO_4 hasta lograr una coloración roja permanente, y luego 5 ó 6 cm^3 de KCNS valorando con TiCl_3 rápidamente sin agitar el matraz, hasta la desaparición de la coloración roja. La valoración previa de la solución de TiCl_3 se efectúa con solución de azul de metileno y solución de sulfato de hierro y amonio. Para la determinación indirecta de la cal en el cemento con oxalato sódico Sörensen, A. Heiser² recomienda el método siguiente: El líquido filtrado, precedente de la determinación de los sesquióxidos en 1,000 g. de substancia a analizar, se acidifica con ClH y se hace reaccionar, manteniéndolo en ebullición, con 1,9832 g. de $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, cantidad que corresponde a 0,8300 g. de CaO . Después de la disolución y combinación de la sal, se agrega ClH hirviendo hasta conseguir la disolución. El CaC_2O_4 precipita añadiendo gota a gota NH_3 . Después de posado el líquido se filtra para separar el precipitado, que se lava en caliente, y se hace reaccionar una parte con H_2SO_4 , valorando luego a 70° C. con KMnO_4 de 1/10.

H. Th. Bucherer y F. W. Meier³ han efectuado investigaciones acerca del empleo del método de filtración para el análisis cuantitativo de los cementos Portland. En consecuencia, proponen tratar los silicatos cálcicos altos en cal, y sobretudo el cemento Portland, con HNO_3 , dado que el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ se disuelve en el alcohol. En esta forma se simplifica notablemente la separación de la SiO_2 . Resulta así un nuevo procedimiento de análisis para el cemento Portland.

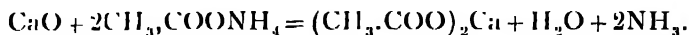
¹ "Chim. et Industrie," 23, Num. esp. 3, 378-81, 1930.

² "Zement," 19, pag. 1154 y 1155, 1930.

³ "Zeitschrift für anal. Chem.," 82, pag. 1-44, 1930.

R. H. Bogue¹ deduce del análisis un nuevo método de cálculo y prepara 3 nomogramas que permiten deducir en cada caso el contenido de $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, y $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, así como las dosis de cal libre, magnesia libre y yeso.

El procedimiento perfeccionado para la determinación de la cal no combinada en el cemento Portland, según W. M. Lerch y R. H. Bogue⁵, está basado en la ecuación



Se prepara una solución formada con 1 parte en volumen de glicerina y 5 partes en volumen de alcohol absoluto, que contenga 2 cm³ por litro de solución de fenolftaleína al 1% y añadiéndole respectivamente solución alcohólica diluida de NaOH, o solución alcohólica de acetato amónico, se afina exactamente en su punto neutro. Para la preparación de la solución tipo se disuelven en 1 litro de alcohol absoluto 16 g. de acetato amónico cristalino valorando con una solución cálcica. Luego hay que calentar el oxalato cálcico hasta 900-1000 ° C., y hasta conseguir constancia de peso; tomar del producto 0,1 g., ponerlo en un Erlenmeyer de 200 cm³ de cabida con 60 cm³ de la solución de alcohol y glicerina, agitar bien y hacer hervir durante 20 minutos previo acoplamiento con un enfriador de retorno de líquido; se valora después en caliente con solución de acetato, se vuelve a hervir, se valora de nuevo, y así sucesivamente hasta que ya no aparezca más la coloración roja.

Una vez pulverizado el cemento, se toma 1 g. del mismo y se echa también en el Erlenmeyer de 200 cm³ con 60 cm³ de la mezcla de alcohol y glicerina y después del tratamiento se averigua por el cálculo la cantidad que contiene de CaO. Sólo puede emplearse alcohol absolutamente exento de H₂O; además es imprescindible pulverizar el cemento a gran finura. G. E. Bessey⁸ ha modificado el método de la glicerina para la determinación de la cal libre, y propone extraer la cal con glicerina sola valorando luego con solución alcohólica de ácido benzoico.

H. Th. Bucherer y F. W. Meier⁷, después de valorar el polvo de cemento con ácido acético al 1% en presencia de CO₂, y empleando ácido H (ácido 1, 8, 3, 6 aminonaftoldisulfúrico) asociado con nitranilina P dinitrada como indicador, observaron la duración de los períodos de reacción o de suspensión que se presentan en el curso de la reacción gradual, y que se explican por la constitución del cemento y elementos que lo componen.

P. Erculisse⁶ estudia críticamente los métodos de análisis y ensayo de los cementos y propone sencillas fórmulas moleculares que expresen su contenido en compuestos realmente existentes en él. De acuerdo con el mismo debe también ser medida con toda exactitud la dosis de agua que al cemento se agregue.

Cal, sílice, alúmina, arcilla, silicatos cálcicos, aluminatos cálcicos y ferritos cálcicos.

(1) **Hidróxido cálcico.**—Según Hüttig y Arbes⁹, las curvas isobáricas de deshidratación indican con toda claridad la existencia del monohidrato $\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O}$. Las temperaturas de disociación para sus preparados obtenidos por diferentes procedimientos caen entre los 385 y 389° C. para $\text{H}_2\text{O}=10$ mm. Concuerdan satisfactoriamente con estos valores los determinados termodinámicamente. T. Thorvaldson y W. G. Brown¹⁰ valiéndose de 3 preparados de $\text{Ca}(\text{OH})_2$

¹ "Ind. Engin. Chem.," Anal. Edition, 1, pag. 192-97, 1929.

² *Idem*, 2, pag. 296-98, 1930.

³ "Journ. Soc. Chem. Ind.," 49, Transac., pag. 360-62, 1930.

⁷ "Zement," 19, pag. 1134-38, 1930.

⁸ "Chimie et Industrie," 21, n. 2 pag. 475-87, 1930.

⁹ "Ztschr. f. anorg. u. allg. Chem.," 191, pag. 161, 1930.

¹⁰ "Journ. Amer. Chem. Soc.," 52, pag. 80-87, 1930.

obtenidos por diferentes procedimientos averiguan que el calor de disolución en $\text{HCl}-200\text{H}_2\text{O}$ es, como promedio, de 550 calorías por gramo de CaO , o sea de 30,85 kcal/mol. El valor hallado por Thomsen fué de 30,49 y el determinado por Berthelot, de 30,96 kcal/mol. A 21°C . no se ha hallado indicación alguna de hidratos que correspondan a un orden más elevado que el $\text{CaO}\cdot\text{H}_2\text{O}$.

(2) **Sílice.**—P. A. Thiessen y O. Körner¹¹ han obtenido diagramas p-x de los hidratos de sílice obtenidos en copos gruesos mediante la lenta descomposición del ester ortosilíceico-etílico en alcohol. Las curvas obtenidas a los 11°C ., presentan una serie de escalones perfectamente definidos. Aparte de los ya conocidos hidratos cuyas composiciones son $\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, y $\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$, se comprobó la existencia de otro hidrato cuya composición es $2\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$. El escalón correspondiente al principio de la formación de este hidrato no se manifiesta de modo muy claro, probablemente a causa de escasa estabilidad. Para otras deshidrataciones isotérmicas a temperaturas más elevadas (32°C .) se pudo asimismo comprobar la existencia de un escalón que corresponde al comienzo de la formación de un hidrato de composición $2\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Se carece en cambio de datos acerca de que en la deshidratación de los hidratos silíceos muy altos en agua en estado sólido se produzcan ácidos polisilíceos. Prosiguiendo las investigaciones¹² se redactó a base de los diagramas p-x un método para la preparación de cada uno de los hidratos silíceos puros.

(3) **Alúmina.**—E. Klever¹³, ha llevado a cabo investigaciones calorimétricas y röntgenográficas acerca del proceso de deshidratación de los hidratos del óxido aluminico. Una preparación, identificada con la bayerita mediante los röntgenogramas obtenidos, fué deshidratada a temperaturas que llegaron hasta los 1200°C ., determinándose los calores de disolución de los productos obtenidos entre $18,52$ y 54°C . en el HF al 40%.

Gracias a las curvas obtenidas, y en los röntgenogramas simultáneamente preparados mediante el método del material pulverizado, pudo ser determinado el siguiente proceso de deshidratación: Hasta los 210°C . se conserva el diagrama, y por consiguiente la misma estructura del material de partida; entre los 210° y los 900°C . aparece una nueva estructura, atribuible a la Al_2O_3 gamma; entre los 900° y los 1200°C . aparecen nuevas líneas que permiten suponer la recristalización de la estructura gamma. Hasta rebasar los 1200°C . no aparece el diagrama del corindón alfa. Se atribuye a la variedad gamma el valor de 92,5 calorías por mol correspondiente a la alúmina anhidra y obtenido por extrapolación en la curva de los calores de disolución. Se ha deducido la existencia de un monohidrato para el cual se ha calculado un calor de hidratación de 27,5 calorías por mol. Una nueva determinación del calor de disolución del cuarzo en el HF al 40% dió el valor $34,12 \pm 0,15$ calorías por mol. Las investigaciones röntgenográficas del caolín deshidratado a 650°C . no proporcionaron dato alguno relativo a la presencia de Al_2O_3 libre, de forma que parece improbable la suposición de una descomposición del caolín en Al_2O_3 y SiO_2 en este intervalo de temperaturas, admitiéndose la existencia de una anhidrita de caolín (metacaolín).

(4) **Hidróxido férrico.**—No se ha podido todavía poner bien en claro cuál sea el verdadero papel que el hidróxido férrico desempeña en la estructura de los cementos. Según Hüttig y Carside¹⁴, se obtiene con todos los preparados de hidratos de óxido férrico obtenidos por precipitación y cuando todavía están recientes, independientemente de su contenido de agua, una curva de tensiones

¹¹ "Ztschr. f. anorg. u. allg. Chem.," 189, pág. 168-73, 1930.

¹² *Idem*, 189, pág. 174-83, 1930.

¹³ Trans. Ceramic Soc., 29, n. 5, pág. 149-61, 1930.

¹⁴ "Ztschr. f. anorg. u. allg. Chem.," 185, pág. 403, 1930.

de vapor sin acodaduras, tal como la ofrecen los coloides o las mezclas en que predominan los coloides. Th. Thorvaldson, W. G. Brown y C. R. Peaker¹⁵ determinan el calor de disolución del aluminato tricálcico y sus hidratos y para la temperatura de 20° C. encuentran como calor de hidratación del $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 214 calorías/20° gr. o bien 57,780 Kcal./g-Mol. de $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Para el calor de formación del $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ partiendo de $3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ se procede a utilizar los valores dados a conocer en diferentes combinaciones: 77 cal/g y 2,079 Kcal./molécula-gramo.

Los calores de solución de los silicatos mono- y di-cálcico han sido estudiados por Nacken¹⁶ deduciendo de ellos los calores de formación de los silicatos correspondientes, en la siguiente forma:

			Calores de disolución Kcal/por mol	Calores de formación a partir de los óxidos Kcal/por mol.
para el	Ca_2SiO_4	.. ..	92,671	36,109
..	Sr_2SiO_4	.. ..	96,294	32,956
..	Ba_2SiO_4	.. ..	85,030	25,190
..	$\text{CaSiO}_3\beta$	.. ..	48,996	20,877
..	$\text{CaSiO}_3\alpha$	.. ..	50,768	28,105
..	SrSiO_3	.. ..	57,418	24,660
..	BaSiO_3	.. ..	50,300	20,209

Síntesis, Constitución y petrografía de los cementos.

El efecto químico del CaO y del MgO sobre la substancia arcillosa y sobre las masas que contienen arcilla, durante la cocción, ha sido estudiado por R. Rieke y E. Völker¹⁷. Establecen que la Al_2O_3 solubilizada y por consiguiente combinada con la CaO se halla con la SiO_2 en la relación de 1 : 2, en tanto que las relaciones $\text{CaO} : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$, se aproximan a las de la anortita 1 : 1 : 2, cuando va creciendo la temperatura de cocción. En presencia de la MgO el proceso se desarrolla de manera completamente distinta. La MgO hasta los 900° se conserva en su mayor parte soluble en los ácidos; sin embargo, tal solubilidad en los ácidos disminuye a temperaturas mayores en contraposición con la cal. También se reduce la cantidad de substancia arcillosa soluble en los ácidos que se combina. Las mezclas de CaO y MgO se conducen como lo harían por separado sus componentes.

Las curvas de calentamiento del CaCO_3 y de la SiO_2 en la proporción de 2 : 1 en presencia de B_2O_3 (anhídrido bórico)¹⁸ acusaron a los 1420° un efecto exotérmico que se atribuyó a la formación del silicato; más tarde un efecto endotérmico que a su vez fué atribuido a la transformación de la variedad β en la variedad α . La primera reacción no experimentó influencia alguna debida a la presencia del B_2O_3 , en cambio la última se aceleró. También se obtuvieron curvas de calentamiento de mezclas de los óxidos que suelen existir en el clinker, preparadas en las proporciones de la práctica; su punto de acodadura caía hacia los 1300° C. El B_2O_3 introducía escasa modificación pero se observaba sin embargo que los clinkers contenían en tal caso bastante más cal libre. La influencia de los fundentes sobre la temperatura de fusión de las mezclas de dosificación parecida a la de los cementos Portland fué estudiada por W. C.

¹⁵ "Journ. Amer. Chem. Soc.," 52, pág. 3927-36, 1930.

¹⁶ "Conferencia dada ante la 53a Asamblea general de la Asociación de Fabricantes alemanes de Cemento Portland."

¹⁷ "Ber. d. deut. Keram. Ges.," 11, pág. 608-15, 1930.

¹⁸ "El efecto del anhídrido bórico sobre la clinkerización del cemento Portland," "Journ. of the Franklin Inst.," 209, pág. 837-38, 1930.

Hansen¹⁹, quien halló que al no emplear fundente alguno la temperatura de fusión era de 1455° C.; añadiendo MgO descendía a 1375° C.; si en lugar de MgO empleaba Fe₂O₃, descendía a 1340° C.; y si se empleaban simultáneamente MgO y Fe₂O₃, dicha temperatura bajaba hasta 1300° C. La presencia del Na₂O sólo la hacía llegar a 1430° C.; añadiéndole MgO se llegaba a 1365° C.; con Na₂O y Fe₂O₃, se alcanzaban 1315°, y en presencia de todos los óxidos adicionales, a 1280° C.

H. Luftschitz²⁰ hizo fundir cementos de alúmina ricos en MgO a 1800° C., que en su mayor parte contenían poca CaO y poca SiO₂, pero que en cambio contenían un 10% de FeO. No se logró obtener así ningún cemento aprovechable.

A. J. Blank²¹ preparó mezclas de primeras materias apropiadas para producir cemento Portland con tantos por ciento de MgO que oscilaban entre el 8 y el 19%; tales mezclas se apelotonaban cuando se cocían en el horno rotatorio. Aun cuando los cementos así cocidos ofrecían buenas resistencias, acababan por fragmentarse con facilidad. Menos malos y desde luego utilizables resultaron los cementos con 6,2 a 7,6% de MgO.

S. Nagai y K. Akiyama²² utilizaron para la síntesis del cemento Kùhl puzolanas altas en Fe, y determinaron la combinación de la cal durante la cocción. Ésta era ya completa a los 1035° y el cemento Kùhl preparado en esta forma alcanzó a los 28 días una resistencia de 650 kg/cm². En otro de los casos²³ se emplearon para fabricar cemento Kùhl una escoria de cobre alta en hierro y una arcillafangosa. Otras investigaciones²⁴ se llevaron a cabo concernientes a la preparación del cemento Kùhl con primeras materias naturales. Las mejores resistencias se obtuvieron con composiciones que correspondían a las dosis máximas de R₂O₃, distribuidas por mitades entre el Fe y el Al (de 7 a 9% cada uno) y en las que la dosis de CaO venía a ser de 61,7 a 62,5%. Prosiguiendo posteriormente los trabajos, se preparó en colaboración con K. Asaoko²⁵ un cemento de una composición de 65% de CaO, 9% de Fe₂O₃, 2% de Al₂O₃, 22% de SiO₂ a una temperatura de cocción de 1450° C. con escoria de Cu, piritas tostadas, y piedra caliza. Las resistencias de este cemento quedaron por debajo de las correspondientes al cemento Kùhl y al cemento Portland.

N. P. Costa²⁶ estudió a base de las propiedades cristalográficas de los elementos componentes de cementos Portland argentinos, preparados por vía seca, de cementos alemanes preparados por vía húmeda y de cementos aluminosos fundidos de procedencia francesa. Comparando preparaciones pulidas para el microscopio de clinker normal y de otros clinkeres enfriados con más o menos energía, se pudieron deducir consecuencias acerca de la naturaleza química y disposición especial de las mismas, así como acerca de las proporciones numéricas de sus elementos componentes en función de la rapidez del enfriamiento. A causa de la escasez de primeras materias aluminosas en el Japón, S. Nagai²⁷ probó de fabricar cementos cálcico-aluminosos con 30% de Al₂O₃ y 50% de CaO. Las probetas de mortero preparadas con tales cementos perdieron resistencia en el caso de conservación en agua; la resistencia en cambio creció en el caso de conservación combinada. Una adición de 0,5—1,0% de bórax²⁸

¹⁹ "Bureau of Standards Journ. Res.," 4, pág. 55-72, 1930.

²⁰ "Tonind. Zeitung," 54, pág. 887-91, 1930.

²¹ "Concrete," 37, n. 2, pág. 85-87, 1930.

²² "Journ. Soc. Chem. Ind." (Japón), Supl. 33, 47B-49B, 1930.

²³ *Idem*, 85B-87B, 1930.

²⁴ *Idem*, 137B-140B, 1930.

²⁵ *Idem*, 312B-315B, 1930.

²⁶ "Anales Soc. Cient.," Argentina, 109, pág. 73-95, 1930.

²⁷ "Journal Soc. Chem. Ind." (Japón), Supl. 33, 167B-169B, 1930.

²⁸ *Idem*, 196B-198B, 1930.

ejerció una favorable influencia sobre la temperatura de cocción y sobre el clinker; sin embargo, también en este caso las resistencias fueron deficientes en la conservación en agua a causa del deslavado de la cal. En un trabajo hecho en colaboración con K. Asaoko, S. Nagai²⁹ preparó sintéticamente ferritos cálcicos y cementos férricos. Sólo tiene propiedades hidráulicas el $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, que sin embargo sólo se endurece al aire.

R. Brill³⁰, de la identidad de los espectros Debye del $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ y del $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, deduce que ambos son idénticos y que el primero sólo se diferencia en que contiene mayor cantidad de cal libre. La preparación estudiada por R. Brill, en opinión de A. Guttman y F. Gille³¹, no estaba formada por el $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, por haber sido fundida primero y luego no haber sido calentada durante tiempo suficiente para ello. Según S. Nagai y K. Asaoko³² el $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ se forma muy difícilmente, si no le acompañan aluminatos y ferritos. S. Nagai y R. Naito³³ calentaron mezclas de óxidos que por su dosificación $8\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{SiO}_2$ correspondían a la composición de la janneckeíta, y comprobaron la total combinación de la cal.

K. Koyanagi³⁴ probó de obtener esferulitos a base de fundir mezclas de cal y alúmina dejándolas luego enfriar con diferente lentitud. Lo consiguió cuando fundió mezclas de la composición $3\text{CaO} + 2\text{Al}_2\text{O}_3$. Tal compuesto no fué hallado por G. A. Rankin al estudiar el sistema $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$; a pesar de ello Koyanagi cree que existe. L. T. Brownmiller y R. H. Bogue³⁵ han aplicado el método röntgenográfico al estudio de la constitución del cemento Portland. El estudio de la combinación $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ha indicado que dicho compuesto existe y puede ser obtenido mediante calentamiento de los óxidos correspondientes. El CaO no forma soluciones sólidas con el $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, en cantidades apreciables. Mezclas de ambos óxidos en las que entren 2-3 moles de CaO por cada mol de SiO_2 , después de calentadas, proporcionan mezclas de $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ y $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ gamma o beta, respectivamente. El compuesto $8\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ no pudo ser comprobado ni en el sistema $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{CaO}$ ni el cemento Portland. Como componentes hallados después de la cocción de una mezcla de dicha naturaleza deben citarse el $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, el $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ beta, y el $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$; en los casos en que no se conseguía el equilibrio se encontraba CaO libre. En los clinkeres técnicos o industriales no se halló cal libre, aun cuando por medio de los rayos X es posible reconocer fácilmente cantidades de ella no mayores de 2,5%.

I. Weyer³⁶ estudió la formación mineral de mezclas de caolín y cal en el seno de la masa fundida. Se ha confirmado en primer lugar la existencia de los compuestos $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ y $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ mediante la preparación de materias químicamente puras y por medio de investigaciones microscópicas y röntgenográficas. La formación del $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ por medio de crudos sintéticos se inicia a los 1300°C . Se prepararon mezclas, para su cocción, con metacaolín, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ y cal en las proporciones 1 : 8 : 9, : 10 y : 12, cociéndolas a $1450 \pm 10^\circ \text{C}$. durante 5 ó 6 horas. En muestras con más de 9 moles de CaO no se observaba ya la presencia del silicato dicálcico sino que toda la SiO_2 se hallaba combinada en forma de $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Se comprobó röntgenográficamente y mediante ensayos de coloración con azul patente, que el soporte de las propiedades hidráulicas del cemento Portland es prácticamente el silicato tricálcico puro, que ha sido considerado como alita y que no posee la aptitud de formar cristales de mezcla con el $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.

(Continuará)

²⁹ "Journ. Soc. Chem. Ind." (Japón), Supl. 33, 190B-192B, 1930.

³⁰ "Zement," 19, pág. 914-915, 1930.

³¹ "Idem," 19, pág. 914-915, 1930.

³² "Journ. Soc. Chem. Ind." (Japón), Supl. 33, 315B-318B, 1930.

³³ "Idem," 256B-259B, 1930.

³⁴ "Idem," 352B-358B, 1930.

³⁵ "Amer. Journ. Science," 20, pág. 241-64, 1930, y "Bureau Standards Journ. Res.," 5, pág. 813-30, 1930.

³⁶ Disertación, Kiel, 1930.

Contribución al problema del endurecimiento del cemento Portland.

por F. F. TIPPMANN.

Las teorías existentes para explicar el proceso del endurecimiento del cemento Portland se pueden clasificar en los tres grupos siguientes:

- (1) La teoría de la cristalización, representada por Le Chatelier y otros.
- (2) La teoría coloidal o del gel, de Michaelis, cuyo principal representante (en sentido amplio) es el prof. Dr. Kühn, y también P. H. Bates, A. Hauenschild y otros.
- (3) La teoría cristaloide-coloide, defendida por Keisermann, Blumenthal, Scheidler, y recientemente por el Dr. Biehl, el Dr. H. W. Gonell y otros.

Lo característico de todas estas teorías es el prestarse poca atención al hidróxido cálcico que se pone en libertad al hidratarse el cemento. Se le considera como poco esencial, y en algunos casos hasta como perjudicial y accesorio, y que no desempeña ningún papel importante en el endurecimiento. También son muy diferentes las opiniones acerca de la cantidad de hidróxido cálcico efectivamente existente a puesto en libertad.

Nos extenderíamos demasiado si quisiéramos discutir aquí con detalle las mencionadas teorías, cosa que ha sido ya realizada con frecuencia y minuciosidad en esta revista. Me veré obligado a exponer solamente una exposición crítica de las opiniones del Dr. Kühn, de acuerdo con los resultados de mis investigaciones, llevadas a cabo como continuación de mis trabajos de hace unos diez años y terminadas hace un par de años, acerca del problema del endurecimiento del cemento.

Como es sabido, el profesor Dr. Kühn es el más fervoroso partidario de la teoría del gel que, iniciada por el Dr. Michaelis, ha sido reformada por él. Muy claramente ha expuesto sus opiniones sobre el fraguado y endurecimiento en su cuarto artículo titulado "El problema del endurecimiento y su importancia para el estudio de los cementos," que ha sido publicado en el No. 1 del presente año de esta Revista.

Sus primitivas opiniones de que "aún los mejores cementos Portland y los más estables de volumen desprendían al hidratarse considerables cantidades de hidróxido cálcico, que en el mortero endurecido podía observarse fácilmente al microscopio en forma de tablillas exagonales" parece que han evolucionado en el transcurso de los años, ya que en el mencionado artículo expone, entre otras cosas, que se ha esforzado inútilmente durante muchos años en encontrar en las preparaciones delgadas y pulidas de cemento fraguado las plaquitas, agujas y masas geloides que se forman fácilmente cuando se trata el cemento con mucha agua, y en consecuencia admite que las partículas de nueva formación se hallan empotradas en una masa cohesiva, y que en su mayor parte caen fuera de los límites de la visibilidad microscópica. Las formaciones cristalinas sólo las encuentra en morteros endurecidos antiguos, y atribuye su formación a una transformación de la masa cohesiva coloidal, que pasa al estado cristalino, o sea, en resumen, al envejecimiento del sistema.

Además, según Kühn, si se emplean las cantidades o dosis de agua normales en el amasado, la hidrólisis no es completa ni mucho menos, y no da lugar a la disociación total de los compuestos en cal, sílice y alúmina libres; no pudiendo, en consecuencia, formarse los cristales que se forman en cambio cuando la cantidad de agua es mucho mayor.

¹ Conferencia dada ante la Asamblea de la Asociación de Fabricantes alemanes de cemento Portland, el 2 de marzo de 1912.

Kühl toma como base la teoría del gel, de Michaelis, y cree que el endurecimiento se produce a causa de la concentración y contracción de una masa de gel, si bien acepta algunas salvedades en favor de la producción de algunos procesos de cristalización; tales procesos de cristalización no pueden intervenir, sin embargo, en el proceso principal, ya que de ser así se tendrían que descubrir en la estructura microscópica de los cementos fraguados los resultados de los procesos de cristalización, en forma de agujas y plaquitas cristalinas.

Una vez desarrollado el proceso de formación, queda, según Kühl, en todos los casos un residuo de cal libre en el cemento endurecido. Se ignora si tal residuo de hidróxido cálcico se encuentra en estado coloide o cristalino. Kühl cree que la mayor parte, o por lo menos una parte muy importante del hidróxido cálcico, se encuentra en forma amorfa o coloide, puesto que de no ser así la formación cristalina se denunciaría al ser observada en el microscopio polarizador, incluso en el mortero fresco.

El único producto cristalino de hidratación que Kühl admite con seguridad en el mortero de cemento, aun cuando no haya podido encontrarlo en las preparaciones delgadas pulidas, es el sulfo-aluminato cálcico; opina que, aún admitiéndolo así, en nada se contradicen sus observaciones de que el mortero de cemento endurecido consiste predominantemente en una masa amorfa, aun cuando luego se admita que en esa masa de gel se encuentren incrustadas en pequeña cantidad agujas de sulfo-aluminato cristalino.²

Con razón rechaza el Dr. Kühl³ el método de investigación basado en el empleo de un gran exceso de agua, tal como fué usado por Blumenthal, Keisermann, Scheidler y otros, por no guardar relación alguna con la práctica. Pero incluso los métodos de Pulfrich y Linck,⁴ que substituyen el agua por la glicerina, son poco fidedignos, puesto que según demuestra Donath,⁵ y yo con él, por medio de los ensayos que efectuamos, la glicerina tiene, lo mismo que el azúcar, la propiedad de retardar la cristalización.

El profesor Kühl emplea, para el estudio del proceso de endurecimiento en el campo del microscopio, con preferencia el método de las preparaciones delgadas pulidas. Hace tiempo trabajé mucho con este método; el Dr. Kühl tendrá que convenir conmigo en que las preparaciones delgadas pulidas, maldito para lo que sirven. Posteriormente he hecho y estudiado numerosas preparaciones pulidas de cemento endurecido con diferentes corrosiones, o sin ellas, a base de luz perpendicular obtenida por medio del iluminador vertical, y siempre con el mismo resultado negativo.

He tenido que convencerme, pues, de que el método de las preparaciones delgadas y de las preparaciones pulidas resulta basto y poco elegante para los aumentos que hay que emplear en la investigación de los cementos endurecidos; aún con laboriosísimos pulidos de las preparaciones, la superficie de las mismas aparece cruzada por innumerables rayas y surcos, que dificultan y tal vez desfiguran los resultados de la observación.

Vengo repitiendo desde hace cinco años que es probablemente una completa equivocación el querer abordar el problema del endurecimiento del cemento Portland en su conjunto (haciendo los ensayos con el mismo cemento Portland), antes de haber aclarado por lo menos a medias el problema de la hidratación de los factores componentes principales del cemento Portland. Muy oportunas eran desde este punto de vista mis manifestaciones acerca del principal de los elementos componentes del cemento Portland, la cal, sobre cuya hidratación

² CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, 4, 14, 1931.

³ Zement, 13, 362, 1924.

⁴ Kolloid-Zeitschrift, 34, 117, 1924.

⁵ Chem. Industrie, 34, pag. 123, 1911.

hacía observar algunos fenómenos muy notables. Desgraciadamente, mis manifestaciones encontraron poco eco; en ellas explicaba que todas las substancias que, tratadas por el agua, son hidrolizadas con desprendimiento de hidróxido cálcico, sin presentar fenómeno alguno de apagamiento de la cal, desprenden el hidróxido cálcico en forma cristalina. En cambio, el óxido cálcico puro se apaga o hidrata formando exclusivamente un hidróxido cálcico amorfo-coloidal, que ni al cabo de 10 años se llega a transformar en cristalino. Y finalmente el yeso, que produce el retraso del fraguado de las mencionadas substancias, da lugar, además, a una abundante formación de hidróxido cálcico cristalino. Todo ello justifica el esfuerzo de ulteriores investigaciones sobre la materia.

Hace unos cuatro años volví a emprender mis investigaciones sobre dicho tema, pero dos años después tuve que suspenderlas nuevamente, a causa de otras ocupaciones que absorbieron mi atención. Esto no obstante, mis estudios sobre estos puntos me proporcionaron gran cantidad de interesantes resultados, que pueden conducir a modificar o reformar los puntos de vista que hoy día privan sobre el endurecimiento de los cementos.

Como quiera que son escasas las probabilidades de que pueda ya reanudar mis trabajos de investigación sobre dichas materias, he pensado publicar una recopilación de todo el material de investigaciones, recogido, bajo el título de "Estudios físico-químicos y mineralógico-cristalográficos sobre el hidróxido cálcico, sobre la aptitud de endurecimiento de las gelatinas coloidales, y sobre el fraguado y endurecimiento del cemento Portland, a base de la variedad cristalizante del hidróxido cálcico." En el resto de este artículo sólo reseñaré algunos de los resultados que se relacionan directamente con el proceso de endurecimiento del cemento Portland.

1. Sólo el hidróxido cálcico separado hidrolíticamente es cristalizante, y pasa directamente del estado de disolución molecular al estado cristalino, sin pasar por un estado coloidal intermedio.

El óxido cálcico puro (tanto si se trata con la dosis de agua normal como si se trata con agua en exceso), forma única y exclusivamente hidróxido cálcico amorfo, coloidal en parte, y ni siquiera después del transcurso de varios años se convierte en hidróxido cristalino. En tanto que la solución saturada de hidróxido cálcico se mantenga en contacto con el precipitado de hidróxido cálcico amorfo, no se forma ningún precipitado cristalino.

En la Fig. 1 (véase pág. 1116) se ven los cristallitos de hidróxido cálcico separados del cemento Portland desleído en agua, y adheridos a las paredes del frasquito. En cambio, en la Fig. 2 (véase pág. 1116), a la izquierda, se ve un frasquito con hidróxido cálcico amorfo desleído, obtenido apagando cal viva pura, y en el cual, aún con el microscopio, a los dos años no se nota el más leve indicio de formaciones cristallinas de hidróxido cálcico.

2. El hidróxido cálcico amorfo puede hacerse pasar al estado cristalizante por la acción de un excitante o estimulante. Entre tales estimulantes se halla especialmente el sulfato cálcico, y en menor grado la sílice, en su variedad gelatinosa.

La Fig. 2 representa los preparados macroscópicos que condujeron a ese descubrimiento. La solución de yeso impidió que, al apagarse, la cal viva pasara al estado de hidróxido cálcico amorfo, y actuando de catalizador dió lugar a una formación exuberante de hidróxido cálcico cristalino. Las fotografías de las Figs. 3 y 4 (véase pág. 1117) son las microfotografías correspondientes a las anteriores.

El problema del yeso recibe con esto nueva luz, que puede contribuir a explicar su efecto de retardador del fraguado y de aumentador de las resistencias

del cemento. Además, se puede preparar con cal viva y yeso de estucador un mortero muy notable, cuyo endurecimiento se debe a la cristalización del hidróxido cálcico.

3. Los cristales aciculares que siempre se encuentran en los preparados de cemento tratados con exceso de agua, y generalmente denominados hidro-silicato mono-cálcico, se producen también en iguales condiciones y en la misma forma y con idénticas propiedades ópticas en la hidratación del óxido cálcico purísimo, cuando se adiciona al líquido de hidratación una pequeñísima cantidad de solución de yeso. No es posible, pues, que sean de hidrosilicato cálcico, sino que tienen que ser de hidróxido cálcico cristalino. La Fig. 5 (véase pág. 1118) representa esos cristales aciculares de hidróxido cálcico, obtenidos merced a la hidratación de óxido cálcico purísimo.

Los cristales aciculares representan una formación somatoide del hidróxido cálcico cristalino, y carecen de importancia para el proceso de endurecimiento del cemento Portland, no formándose en los morteros de cemento amasados con dosis normal de agua, por no reunirse allí las condiciones necesarias. Tampoco se forman con un gran exceso de agua, en el caso en que los gránulos de cemento se hallen tan cerca unos de otros que se forme una esfera homogénea de concentración del hidróxido cálcico disuelto.

4. El sistema $\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ implica una contracción cuando se forma hidróxido cálcico cristalino, y un aumento de volumen si el hidróxido cálcico que se forma es amorfo-coloidal. Esta afirmación se basa en los cálculos siguientes:

CaO:	Peso molecular = 56,07	Peso específico = 3,3
H ₂ O:	" " = 18,016	" " = 1,0
Ca(OH) ₂ :	" " = 74,086	" " = 2,23 (cristalino)
Ca(OH) ₂ :	" " = 74,086	" " = 2,08 (amorfo-coloidal)

Así, pues, el producto en forma de hidróxido cristalino experimenta una contracción del 5,06%, y si está en forma de hidróxido coloidal o amorfo un aumento de volumen del 1,56%, todo ello con relación al volumen original del material de partida.

En la formación del sulfato cálcico di-hidratado, a base de yeso de estucador y agua, la contracción del volumen llega a ser del 9,32% del volumen de las materias de origen.

El ensayo de los frascos de Kühl no constituye ninguna prueba absoluta de que la substancia precipitada experimente efectivamente una contracción de volumen. Es posible, incluso, que la materia precipitada experimente un aumento real de volumen, y que a pesar de ello el menisco de la columna líquida baje todavía. En tanto que no sepamos en qué forma se encuentra el agua de cristalización en los cristales y el líquido de constitución de los geles, estos problemas seguirán sin poderse resolver. Por lo demás, ofrecen mucho interés los resultados del ensayo de los frascos de Kühl, si se emplean, en lugar de agua, diferentes soluciones, como por ejemplo: agua de cal, agua de yeso, solución de azúcar, etc. Todo esto lo exponía ya en el antes citado resumen de los resultados de mis investigaciones.

5. Dado que las dos variedades conocidas del hidróxido cálcico se conducen de manera tan diferente, a mi modo de ver carecen de objeto todos aquellos ensayos que se propongan una representación sintética de los silicatos cálcicos hidratados, formándolos por la acción del óxido cálcico puro (o sea mediante la solución de hidróxido cálcico con él preparada) sobre la sílice coloidal. No se ha logrado, por ahora, y es muy probable que no se logre nunca, preparar a las temperaturas ordinarias un hidrosilicato cálcico de composición perfectamente definida (cristalino o coloidal).

Como la sílice sólo a muy elevadas temperaturas adquiere un marcado carácter ácido, y entra en combinación con el óxido cálcico, y en cambio, a las temperaturas ordinarias apenas si puede decirse que actúe como ácido, resulta que, a estas temperaturas, sólo tiene una débil afinidad para la solución acuosa de hidróxido cálcico. Mi opinión es de que existe tan sólo una ligera tendencia a la formación de hidrosilicato cálcico, consistente en que la sílice coloidal, a consecuencia de su estructura característica, puede retener, superficialmente o en sus microcanales, una cantidad variable de hidróxido cálcico, y aún concentrarla allí, como el platino finamente dividido o el paladio concentran y retienen el hidrógeno. En tal caso se desarrollarían dos procesos: (1) una afinidad química real y verdadera, si bien sumamente débil, entre el hidróxido cálcico y la sílice; (2) efectos capilares debidos a la microestructura canaliforme de los geles de sílice, que da lugar a una fuerte concentración de la solución de hidróxido cálcico en los geles de sílice. Si bien se puede admitir que estos procesos constituyen un primer paso hacia la formación del hidrosilicato cálcico, no puede, en cambio, aceptarse que se efectúe la reacción de un modo completo, por no reunirse las condiciones y circunstancias indispensables. El efecto final (especialmente en el caso del endurecimiento del cemento Portland, es que la solución saturada de hidróxido cálcico, retenida en los microcanales del gel de sílice, cristaliza en forma cripto-cristalina, lo cual simula un paso o evolución de la fase del gel hacia un estado cristalino, y suele interpretarse como un "envejecimiento" de dicha fase coloidal. No obstante, hay que convenir en que el hidróxido cálcico cristalino coopera a la concentración y solidificación (y por consiguiente al endurecimiento) del gel de sílice, en importante medida.

La microestructura canaliforme de la sílice puede ser observada con mucha claridad mediante ampliaciones de 1000 a 1500 diámetros; es apropiada para ello aquella sílice que, al atacar el cemento Portland con ácido clorhídrico, precipita inmediatamente y no es tan gelatinosa como la que luego se precipita al evaporar. Interesante es también la observación de cómo la solución de hidróxido cálcico extrae el agua pura de la sílice gelatinosa. Sobre una masa de sílice gelatinosa conservada en agua destilada se vierte con cuidado, mediante una pipeta microscópica, solución saturada de hidróxido cálcico, coloreada de rojo con antrapurpurina; con el microscopio se puede entonces seguir perfectamente el mencionado proceso.

6. El profesor Kuhl basa su profunda convicción de la teoría del gel en el hecho de no haber nunca podido lograr hallar elementos cristalinos en el cemento que se endurece o en el cemento endurecido, aparato de los del sulfato-aluminato cálcico. Puede muy bien ocurrir que sus métodos no sean del todo acertados, ya que él buscaba siempre las "tablillas exagonales" del hidróxido cálcico, en tanto que lo que había que buscar más probablemente eran las formaciones somatoides del hidróxido cálcico, a causa de la elevada viscosidad del mortero de cemento amasado con dosis normal de agua.

Describiremos ahora sobre los dibujos esquemáticos de las figuras 6 (pág. 1209) un método muy sencillo para estudiar los procesos de fraguado y endurecimiento en los morteros de cemento amasados con dosis normales de agua, que no sólo permite la observación directa del hidróxido cálcico cristalino, sino que además pone de manifiesto que todo el hidrato cálcico que se disocia por hidrólisis se separa en forma cristalina, y presta nuevo material para la revisión de toda la teoría del endurecimiento.

La elaboración de las preparaciones se efectúa de manera sumamente sencilla, poniendo un poco de pasta de cemento amasada a consistencia normal en un porta-objetos, extendiéndola en capa delgada y cubriéndola con el vidrio cubre-objetos, que luego se une al primero vertiendo en el borde un poco de parafina.

Como la preparación debe ser observada con luz oblicua e iluminación por encima, no tiene importancia el mayor o menor espesor de la capa de mortero; esto no obstante, mediante un tamizado del cemento con un tamiz de 4900 o de 10.000 mallas, se consigue fácilmente preparar un mortero tan fino y una capa de tan poco espesor, que la preparación puede también ser observada por transparencia, lo cual presta un gran interés a las observaciones.

La observación metódica de las preparaciones se hace estudiando primero la superficie de las mismas con luz reflejada y oblicua, tal como se indica en la fig. 6 (pág. 1209). Cuando estos rayos de luz oblicuos tropiezan sobre las superficies de los cristales, son reflejados regularmente y no llegan al ojo del observador, por lo cual dichas superficies aparecen oscuras; por el contrario, la luz reflejada sobre las formaciones coloidales que no ofrecen ninguna superficie plana bien definida, sino que forman una masa globulada y espumosa, es enviada parcialmente al observador, por lo cual en el campo visual aparecen de color claro.

De todos modos, el método no se presta a grandes aumentos, ya que es indispensable conservar cierta distancia entre la lente del objetivo y la preparación. Sin embargo, aun con aumentos pequeños resulta bastante bien; yo observaba tales preparaciones con un objetivo de 12,6 mm. de distancia focal equivalente (acromático Winkel nº 3a) y un ocular de compensación Winkel-Zeiss nº 6, con lo cual se obtenía una amplificación de unos 205 diámetros. En cambio, la microfotografía de esas imágenes superficiales resulta sumamente difícil.

Estudiando, pues, esos preparados de cemento con dosis normal de agua, mediante el método descrito, a las 8 ó 10 horas se obtienen ya fotografías como las que se observan en las figs. 7 y 8 (pág. 1120). Las superficies oscuras son cristales de hidróxido cálcico, y las claras son las masas espumosas globulares formadas por la sílice gelatinosa, cargada aún de agua, así como por partículas de cemento aún no atacadas. Se ve, pues, que los cristales de hidróxido cálcico no forman en el mortero de cemento Portland tablillas exagonales, sino delgadas laminillas cristalinas, sin forma determinada, y hacen como de relleno. Constituyen formaciones somatoides del hidróxido cálcico cristalino, en correspondencia con la elevada viscosidad del medio circundante. Se adhieren y reúnen como hilos o hebras en agua de cola, y crecen muy rápidamente.

Si se dispone de preparaciones suficientemente delgadas para que sea posible la observación por transparencia, podrá formarse una idea del por qué las preparaciones delgadas de cemento endurecido dan tan poco resultado; de todos modos, mediante la iluminación que se efectúa entre dos nicoles cruzados se obtiene ya a los 2 ó 3 días una luminosidad incomparablemente más intensa que con las preparaciones delgadas, aún después de mucho tiempo.

La fig. 9 (pág. 1121) representa una vista superficial del cemento Portland de alto valor de la fábrica suiza de Würelingen-Siggenthal a las 24 horas, en la que por primera vez hacía yo esta observación. El mismo punto de la preparación, al cabo de los 28 días de endurecimiento, puede verse en la fig. 10 (pág. 1121); los cristales de hidróxido cálcico han crecido considerablemente, y forman superficies compuestas, que cubren un 60% del campo visual. Las partes cubiertas, en cambio, por el gel de sílice, se han reducido considerablemente, y cubren apenas el 40% de dicho campo. Los geles de sílice sufren una enérgica compresión, por efecto del crecimiento de los cristales de hidróxido cálcico; su agua es expulsada en gran parte, y su volumen muy reducido. Es característico que las pequeñas superficies blancas de los geles de sílice están encuadradas por líneas rectas, debidas a las aristas de los cristales de hidróxido

cálcico existentes en derredor suyo. La formación de la gelatina precede, pues, a la de los cristales.

Los cristales no sólo se forman superficialmente, sino también en toda la masa del mortero que fragua, como lo comprueban las fracturas recientes de trozos de mortero endurecido en iguales condiciones de observación.

La práctica de este método permite también la obtención de buenos resultados, en materia de juicio acerca de la calidad del cemento.

En la fig. 11 (pág. 1122) se han representado esas imágenes algo idealizadas por medio del dibujo. La figura *a* indica las formas aproximadas de los cristales de hidróxido cálcico al principio del endurecimiento, incrustados en sílice gelatinosa muy cargada todavía de líquido, y en correspondencia con las fotografías 7, 8 y 9. La figura *b* representa el estado de la preparación en una fase más adelantada del endurecimiento, en correspondencia con la microfotografía de la fig. 10. Los cristales de hidróxido cálcico (superficies oscuras) han llegado a formar una superficie compuesta, y han reducido de volumen y

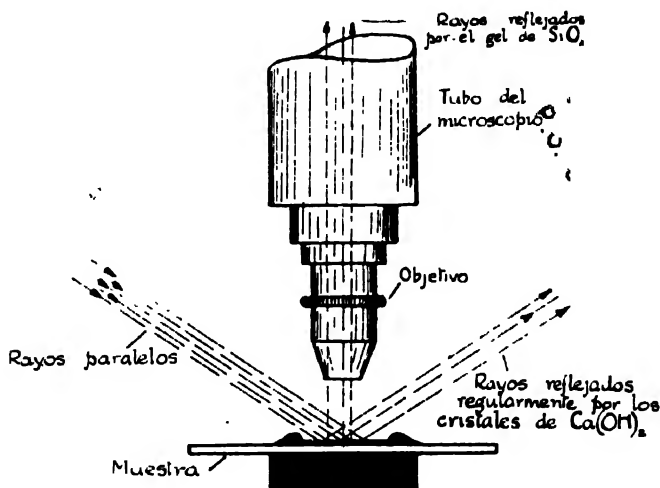


Fig. 6.

han deshidratado notablemente, mediante supresión en todas direcciones, a las masas aún subsistentes de gel de sílice.

Estos cristales, visibles ya en grandes cantidades bajo el aumento de 205 diámetros, originan la primera solidificación del mortero; a causa de la constante y progresiva deshidratación de la fase geloide, tales cristales van produciéndose cada vez de menor tamaño, hasta llegar a formarse elementos criptocristalinos en los microcanales de la gelatina. Su número, en cambio, es cada vez mayor, y al progresar la marcha del endurecimiento, simulan una transformación de la fase coloide a un estado cristalino. Sin embargo, las cantidades observadas de hidróxido cálcico cristalino formado permiten concluir, sin duda alguna, que la totalidad del hidróxido cálcico disociado por hidrólisis se separa en forma cristalina, que la hidrólisis de los silicatos cálcicos del clinker tiene que ser completa, y que, en cambio, no se pueden formar hidrosilicatos cálcicos de ninguna clase. Y esto es tanto más así cuanto que de la masa de cemento empleada y amasada con dosis normal de agua, es probable que a lo más se hidrate un 30% o un 40%, y que sea únicamente esta fracción la que tome parte en el endurecimiento.

El fraguado y el endurecimiento no son procesos diferentes, sino que forman

una serie continua durante la hidratación, y sin solución alguna de continuidad se enlazan y complementan.

7. De las observaciones expuestas, que soportarán de manera absoluta toda ulterior comprobación, se desprende forzosamente una nueva y muy probable teoría del endurecimiento, que explicaré brevemente a continuación, sobre los esquemas de la fig. 12 (pág. 1211). La teoría se apoya únicamente en la Ca y la sílice del cemento Portland, o sea en el 87% de su composición.

Los silicatos de cal del clinker experimentan bajo la acción del agua una completa disociación, en hidróxido cálcico que pasa al estado de disolución molecular, y en hidrosol de sílice, que a causa de la solución saturada de hidróxido cálcico fuertemente básica, se coagula en forma gelatinosa; el líquido de constitución de este gel es, pues, una solución de hidróxido cálcico saturada.

La fig. 12a representa el estado en que se encuentra la pasta de cemento de consistencia normal recién amasada. El sistema está muy cargado de líquido, y las partículas de cemento han sido atacadas superficialmente. La sílice gelatinosa coagulada es muy voluminosa, es permeable a las soluciones moleculares como la de hidróxido cálcico, y recubre los gránulos de cemento.

El agua de amasado no se halla todavía saturada de hidróxido cálcico, a causa de la formación simultánea de la solución de yeso, que permite que el agua disuelva una cantidad de hidróxido cálcico muy superior, y hace que la saturación tarde mucho más en producirse. La sílice separada al principio, naturalmente, se halla (casi en estado naciente) en forma de hidrosol, pero luego es precipitada en copos gelatinosos así que el agua alcanza una determinada concentración de hidróxido cálcico. El hidróxido cálcico pasa al través de la sílice gelatinosa permeable, llega a los gránulos de cemento aún remanentes, forma nuevas cantidades de gel, y se satura.

La figura b representa la fase correspondiente al principio del fraguado. Una vez compensado el efecto retardador de la solución de yeso formada, simultáneamente el agua de amasado llega a la saturación en hidróxido cálcico, y a consecuencia de la ligera elevación de temperatura que se produce a causa del calor de formación que se desprende, queda pronto sobresaturada. Entonces, tanto dentro como fuera de las cápsulas gelatinosas empiezan a formarse núcleos cristalinos de hidróxido cálcico, que crecen rápidamente. El momento en que observamos sobre las probetas de ensayo que están fraguando una rápida desaparición del agua superficial, corresponde a la total coagulación del sol de sílice en forma de gelatina, cuya estructura microcanalizada desarrolla importantes fuerzas capilares. El líquido contenido en los poros desaparece, y es empleado en forma de agua de cristalización en la formación de los cristales de hidróxido cálcico, y en forma de fase líquida en los geles de sílice que siguen formándose.

Los cristales de hidróxido cálcico, al crecer en tamaño y en número, ejercen en todos sentidos una presión sobre las masas gelatinosas, blandas todavía y muy cargadas de líquido (pero permeables), por cuya causa ese gel de sílice va perdiendo progresivamente su fase líquida y adquiriendo cohesión y viscosidad. La solución saturada de hidróxido cálcico marcha hacia los cristales crecientes, y contribuye a su formación, combinando en ellos químicamente una molécula de agua; la solución, progresivamente empobrecida en hidróxido cálcico, se desplaza de nuevo hacia las partículas de cemento sólo atacadas superficialmente, y forma allí nuevas cantidades de gel de sílice y se vuelve a saturar. De esta manera, la totalidad del sistema va adquiriendo viscosidad.

La figura c representa la pasta de cemento en el estado que se denomina "cemento fraguado." Debido a la compresión de los cristales de hidróxido cálcico que han ido aumentando de tamaño, y al empobrecimiento en líquido

de los geles, éstos se endurecen, empezando naturalmente por las capas exteriores de las cápsulas gelatinosas. La circulación del líquido se hace cada vez más lenta y difícil, los cristales que se siguen formando son cada vez más pequeños y numerosos, las capas exteriores endurecidas de los geles de sílice llegan a hacerse impermeables, así es que la solidificación se limita ya en adelante a los interiores de las cápsulas gelatinosas.

Finalmente, la figura *d* representa la terminación ideal del endurecimiento. Todo el sistema queda ya en reposo. Toda el agua está en forma de agua de

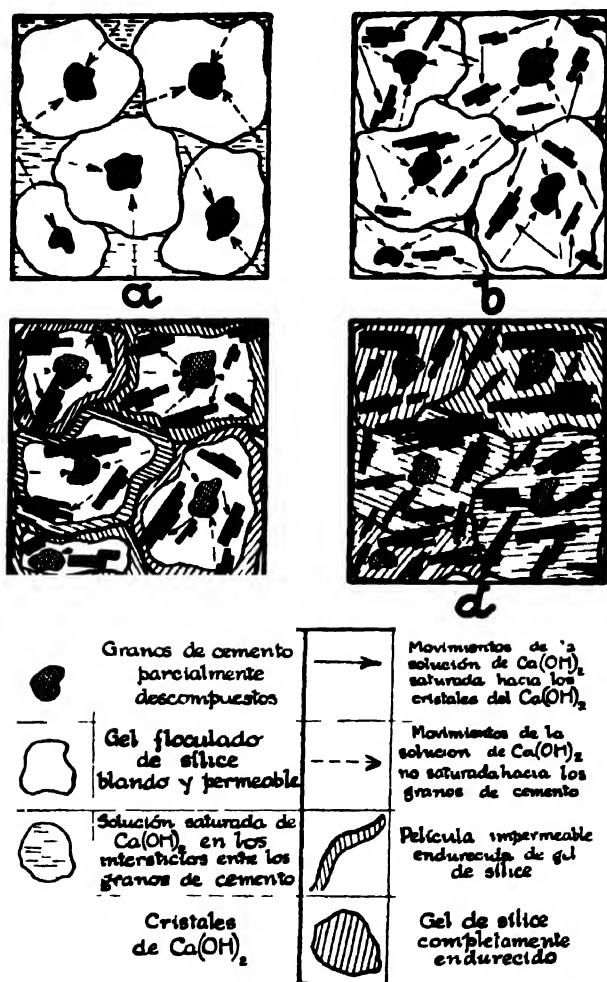


Fig. 12.

cristalización combinada en los cristales de hidróxido cálcico, que han alcanzado su magnitud y número máximos posible, y que mediante la compresión ejercida han deshidratado completamente los geles de sílice y han originado un endurecimiento sin contracción alguna. Los gránulos de cemento no han sido completamente atacados, existiendo un gran exceso de substancia sin descomponer, que para un rápido endurecimiento sería de la máxima importancia. Este estado final del endurecimiento es ideal, y no se alcanza nunca en realidad, o a lo más en determinadas circunstancias al cabo de muchísimo tiempo, porque

la humedad del aire y otros agentes exteriores aportan constantemente nuevas cantidades de agua. La práctica nos suministra incesantemente numerosos ejemplos: basta pensar tan sólo en lo concerniente a la humedad en los procesos de conservación al aire, al agua, combinada y KI. La sílice, y sobre todo su variedad procedente de la disociación hidrolítica de los silicatos cálcicos, parece ser, hasta cierto punto, un coloide reversible.

De esta teoría se desprenden las siguientes ideas:

(a) Podríamos considerar como ideal a un cemento que no se expansionara ni se contrajera, y en el que las fases coloide y cristaloides participasen en forma tal, que el volumen de la masa producida de cristales de hidróxido cálcico fuese igual al volumen equivalente a la contracción de la sílice gelatinosa, con lo cual el volumen total no experimentaría variación. Cuando una u otra de las dos fases predomina, se produce el fenómeno de la inestabilidad de volumen.

(b) El hidróxido cálcico cristalizante no puede ser considerado como la causa de la expansión; constituyen únicamente una excepción los denominados cristales explosivos de hidróxido cálcico, que solamente pueden presentarse en aquellos morteros inadecuadamente preparados, de compacidad insuficiente y colocados en obras sumergidas bajo el agua, y que tan sólo ocasionan expansiones o roturas macroscópicas localizadas. Únicamente la cal libre, esto es, no combinada con la sílice del clinker, que al hidratarse no queda en forma cristalizante, sino amorfa, puede ser causante de la expansión cálcica, por su lento proceso de apagado.

La teoría expuesta queda asimismo justificada por el siguiente hecho: un cemento endurecido, perfectamente estable, de volumen fragmentado, y puesto a cocer de nuevo en trozos hasta la temperatura de vitrificación, produce un clinker que, al hidratarse, se calienta fuertemente y que resulta muy expansivo, comportándose lo mismo que la cal viva. En cambio, si se pulveriza el cemento endurecido hasta obtener un polvo muy fino, y luego se cuere en esta forma hasta la vitrificación, el producto es completamente estable de volumen.

En consecuencia, pues, no es posible explicar la expansión cálcica "por la acción de las presiones de cristalización del hidróxido cálcico," como lo hace el Profesor Kühl.

El mayor o menor valor mecánico de un cemento depende, por lo tanto, en primera línea, de la cantidad de hidróxido cálcico cristalizante; y como sólo es cristalizante el hidróxido cálcico separado hidrolíticamente, únicamente se podrá saber cuál sea el máximo de la dosis de cal hidráulicamente activa, cuando se sepa bien claramente cuál es su constitución. Es sumamente probable que los aluminatos cálcicos del clinker, al hidratarse con las cantidades normales de agua, se comporten exactamente igual que lo hacen los silicatos cálcicos; de todos modos, no se forman las plaquitas de hidroaluminato cálcico que aparecen cuando se trata el cemento con exceso de agua.

Finalmente, el sulfo-aluminato cálcico tiene escasa importancia en el mortero endurecido, por no decir ninguna, y se forma tan sólo en condiciones muy especiales y creadas artificialmente. Hay siempre que tener presente la elevada viscosidad de los morteros amasados con dosis normal de agua, ya que aquélla ejerce una importante influencia sobre la forma y clase de los productos de la hidratación, según ya hemos visto con el hidróxido cálcico.

Cuando para el amasado se emplea una solución muy diluida de azúcar, desaparecen por completo, en el examen superficial mencionado, los típicos cristales de hidróxido cálcico. No sólo tuve ocasión de comprobar que se impedía la formación de los cristales de hidróxido cálcico, de manera tan radical, sino que, además, observé una característica transformación del hidróxido

cálcico cristalizable en otra variedad coloidal gelatinosa del mismo. La figura 13 (pág. 1125) representa una reunión de pequeños cristales de hidróxido cálcico, reunidos artificialmente, que al cabo de 8 días de hallarse en contacto con una solución de azúcar, se han transformado en esa variedad coloidal gelatinosa. El efecto del azúcar consiste, pues, en una coloidización del hidróxido cálcico cristalizable, con lo cual se produce naturalmente una fuerte contracción, y el endurecimiento sólo puede originarse por la acción del tiempo sobre las masas gelatinosas formadas.

Las mezclas sintéticas (de una composición aproximadamente igual a la del cemento Portland) de sílice gelatinosa, cal viva finamente pulverizada y algo de yeso, se endurecen exactamente lo mismo que el cemento Portland. En este caso se produce también la abundante cristalización del hidróxido cálcico, transformado de amorfo en cristalizable, por la acción excitante del yeso, tanto en el interior como en el exterior de las cápsulas gelatinosas, lo cual da lugar a la consolidación y solidificación del sistema, sin contracción de ninguna clase.

El óxido cálcico, en condiciones normales, sólo puede formar el monohidrato cristalino, por lo cual hay que admitir que un cemento, que en lugar de óxido cálcico tiene algún otro elemento esencial que forma de manera parecida hidróxidos más elevados al hidratarse, tiene que poseer un excelente y rápido poder de endurecimiento.

8. Reseñemos todavía rápidamente otro ejemplo de la transformación del hidróxido cálcico amorfo expansivo en la variedad cristalizable no expansiva del mismo.

A este fin hice preparar un cemento con 72% de óxido cálcico, que (como era de esperar) era sumamente expansivo. Pasé luego a estudiar al microscopio preparaciones de pasta del mencionado cemento, amasado con la dosis normal de agua, efectuando la investigación superficial microscópica, una vez sin yeso y otra adicionando un 3% de yeso (semi-hidrato).

El preparado sin yeso se expansionó considerablemente, ya a las 24 horas; la superficie se presentaba disgregada, agrietada y áspera; el cristal cubre-objetos se abombó como un vidrio de reloj. A las 48 horas, dicho cristal estaba roto, y la masa era completamente pulverulenta. (Haré notar, de paso, que la deformación del vidrio cubre-objetos, por medio de un esferómetro, permite denunciar pequeñísimas alteraciones de volumen de los morteros). El segundo preparado, con 3% de yeso (semi-hidrato), permaneció inalterable, la superficie completamente lisa y la masa sin grietas y muy coherente. Incluso actualmente, al cabo de dos años de observación, no presenta todavía tal preparado variación alguna, y el cubre-objetos sigue perfectamente plano.

Las figuras 14 y 15 (pág. 1126) son microfotografías de estas preparaciones, y hacen resaltar vivamente la diferencia. Mediante la agregación del yeso, la variedad amorfo-coloidal del hidróxido cálcico se transforma efectivamente en la variedad cristalizable, aportando así la comprobación de que la variedad cristalina del hidróxido cálcico no puede ser considerada como la causa de la expansión cálcica en los morteros espesos.

La teoría del gel de Kühl, queda sólo imperfectamente explicada por medio de la "absorción interna," ya que en tal caso tendría que tener lugar una contracción considerable. En cambio, los cristales de hidróxido cálcico, llenando los huecos, se oponen a aquella contracción. Tan sólo una asociación ideal del hidróxido cálcico coloidal y del cristalino puede dar un cemento Portland de volumen estable y exento de contracción, con elevadas características hidráulicas y mecánicas. La contracción del volumen, producida por la fluidificación de los coloides, requiere como compensación un crecimiento de volumen del mismo orden, producido por el desarrollo de los cristales de hidróxido cálcico.

Son completamente insostenibles las afirmaciones y opiniones de P. H. Bates* (Presidente de la Sección de cemento, hormigón y cerámica del Bureau de Standards de Washington) cuando dice: "A pesar de lo poco que se puede todavía asegurar respecto del carácter del silicato bajo en cal, hidratado, del cemento Portland, es visible que constituye el aglomerante ideal inorgánico coloidal, especialmente cuando va acompañado de cal hidratada, cristalina o amorfa," así como la de Hauenschild, quien en 1926 todavía me escribía: "Sus trabajos sobre las condiciones de cristalización del hidróxido cálcico son muy interesantes. Mi opinión es, sin embargo, que en el fraguado y endurecimiento del cemento Portland no se trata de fenómenos de cristalización, sino de índole puramente coloidal. . . Los cristales que se forman son únicamente una circunstancia accidental, y no se observan en los morteros espesos."

Cuando los citados investigadores hayan comprobado mis ensayos y métodos de investigación, no les quedará más recurso que admitir una teoría del endurecimiento más tolerante con la teoría cristaloidal.

Resumen.

(1) La hidrólisis de los silicatos cálcicos del clinker tratados por agua es completa, o sea que los productos resultantes son gel de sílice e hidróxido cálcico. Para esto es indiferente que el cemento sea tratado con mucha o con poca agua.

(2) En las pastas de cemento amasadas con dosis normales de agua, los productos de hidratación son muy diferentes en forma y naturaleza (por causa de su elevada viscosidad) que en el caso de emplearse un gran exceso de agua; adoptan generalmente formas somatoides.

(3) Los cristales aciculares que se forman en las preparaciones de cemento, con gran exceso de agua son de hidróxido cálcico, y no se forman en los morteros de consistencia normal.

(4) Los hidrosilicatos cálcicos no se forman al endurecerse el cemento, ni en forma coloidal ni en forma cristalina.

(5) El mortero de cemento endurecido contiene únicamente hidróxido cálcico separado hidrolíticamente y de la variedad cristalina. La forma cristalina del hidróxido cálcico en el cemento endurecido no está constituida por las plaquitas exagonales o columnitas que se ven en los preparados amasados con gran exceso de agua, sino por plaquitas o laminillas que hacen como de relleno.

(6) El hidróxido cálcico cristalino o cristalizable no puede ser considerado como la causa de la expansión cálcica. El hidróxido cálcico disociado o separado hidrolíticamente es siempre cristalizable, sin necesidad de recurrir a estimulante alguno; el hidróxido cálcico amorfo requiere, para poder cristalizar, la acción de algún estimulante, debe ser considerado como la causa de la expansión cálcica, y en la hidratación del cemento se forma siempre como una fase ulterior del endurecimiento de cementos que contienen cal libre. En esta fase, el estimulante de que se trata (yeso) ya no tiene acción alguna más.

(7) El proceso de endurecimiento del cemento Portland estriba en una cooperación ideal de la sílice coloidal y del hidróxido cristalino, que forma la parte más importante del cemento Portland endurecido. El hidróxido cálcico debe ser considerado como la base y fundamento de las propiedades aglomerantes del cemento, y asimismo como soporte del proceso de endurecimiento.

(8) Describimos un método de observación microscópica, que permite seguir y comprobar los procesos reseñados relativos al endurecimiento del cemento Portland con dosis normal de agua.

(9) La expansión del yeso se debe a un exceso de cristalización del hidróxido cálcico, para la cual no basta la cantidad existente de sílice gelatinosa. En

* Zement, 16, 757, 1927.

cambio, es posible que un cemento que adolezca de expansión cálcica se vuelva estable de volumen mediante la adición de yeso, gracias a transformarse la variedad amorfa del hidróxido cálcico en la cristalina. Prácticamente, esto es sólo posible en limitada medida, pues de lo contrario se produciría un exceso de hidróxido cálcico cristalino.

Filtros de aire.

El filtro de aire "Intensiv" representado en la figura 1 (véase pág. 1139) que se halla en funcionamiento, en Alemania, en combinación con cinco molinos tubulares, no emplea el enfriamiento por agua, sino que utiliza el tiro inducido creado por el ventilador del filtro. Según se afirma, aumenta la capacidad del molino hasta un 10% más, a causa de que el polvo muy fino producido es arrastrado por la corriente de aire y llevado al filtro, quedando únicamente en el molino las partículas de mayor tamaño para su ulterior molturación. El polvo así recuperado es introducido de manera continua y automática en el tornillo de descarga de los molinos tubulares y mezclado así con la masa del material molido.

La figura 2 (véase pág. 1139) representa un filtro instalado en la misma fábrica para recoger el polvo desprendido de un molino pulverizador de carbón. La figura 3 (véase pág. 1140) es otro filtro de la misma construcción que recoge el polvo en un molino de cemento instalado en una fábrica en que se produce cemento ferro-portland. En dicha fábrica, toda la maquinaria que produce polvo, horno inclusive, va acoplada a filtros de esta clase. Tenemos noticia que en tales filtros, después de llevar doce meses trabajando con períodos de semanas enteras sin interrupción, ninguna de las mangas filtrantes (hechas de lana escocesa de primera calidad) presentó señal alguna de deterioro o desgaste. Los gases que salen del horno tienen una temperatura de 350° C. y contienen azufre y cenizas del carbón, polvo de cemento, humedad, etc., que estropearían las mangas filtrantes si no estuviesen siempre sujetos a control.

Esta instalación es de las conocidas como del tipo de aspiración. El ventilador, que se encuentra entre la chimenea y el filtro, empieza por aspirar los gases calientes del horno a través de dos enfriadores Ljungstrom de gran diámetro. Los enfriadores giran lentamente en un plano horizontal, rebajan la temperatura de 200 a 230° C., así los gases llegan al filtro y lo atraviesan a una temperatura sólo de 100 a 120° C., siendo luego expulsados por la chimenea que los lanza a la atmósfera. De esta manera los gases se hallan siempre bajo control, y son guiados automáticamente a través de las mangas filtrantes encerradas en las diversas cámaras del filtro. El polvo contenido en los gases queda retenido en el interior de dichas mangas, siendo luego automáticamente descargado fuera del filtro y conducido al punto deseado por medio de un transportador de tornillo. Unos ventiladores de menor tamaño, instalados junto a los enfriadores inyectan aire atmosférico a 15° C. a través de ellos; este aire se lleva consigo unos 200° C. de la temperatura que allí reina, y por unas tuberías es conducido a los tambores secadores donde se aprovecha para la desecación de las primeras materias destinadas a la fabricación del cemento antes de su entrada en el horno rotatorio. Así se consigue a la vez una economía de combustible y la eliminación del polvo.

Estos filtros son la especialidad de la "Intensiv Filter Co." de Langenberg (Renania), que ha instalado centenares de ellos en diferentes fábricas del continente europeo; algunos de dichos filtros están en funcionamiento en Inglaterra para la captación de polvo de las máquinas envasadoras, para la alimentación de sifos por sistemas neumáticos, para polvo de zinc, etc.

Estudio comparativo de la industria del cemento Portland en los Estados Unidos de Norteamérica, en el Canadá y en el Reino Unido.—VIII.

por HAL GUTTERIDGE.

Captación de polvo.—Las principales secciones de una fábrica de cemento pueden generalmente ser empleadas con ventaja las instalaciones de captación de polvo son las de trituración, desecado, molturación del crudo, molturación del carbón, molturación del clinker y envasado del cemento. Para la captación de polvo de las chimeneas se requieren condiciones aparte, que serán estudiadas después. Los métodos de captación de polvo pueden ser clasificados entre los tipos siguientes; centrifugos, filtros, por gravedad, eléctricos, y de remolino interior.

Separadores centrifugos.—De los diversos tipos de colectores centrifugos que se hallan generalmente en uso, puede citarse el colector de ciclón, en el que la separación se efectúa por la proyección tangencial de las partículas de polvo fuera de la corriente gaseosa, bajo la acción de la fuerza centrífuga. Como el rendimiento en separador de ciclón varía con el cuadrado de la velocidad tangencial, e inversamente al radio, se deduce que cuanto mayor sea la velocidad con que el gas entre en el aparato, tanto mayor será el rendimiento para un valor determinado del radio, y cuanto mayor sea el radio, tanto más bajo será el rendimiento para un valor determinado de la velocidad con que entran los gases.

La velocidad de entrada de los gases viene limitada por consideraciones de orden práctico, debido a la potencia requerida para producirla, y por otra parte a que el tamaño del separador tiene que ser el adecuado para el volumen de gases que tengan que circular por el separador. Se ha llegado a un tipo medio que se adapta lo mejor posible a cualquier caso práctico.

Separadores de filtro.—Cuando los gases cargados de polvo se hacen pasar directamente a través de un medio filtrante, el separador se denomina colector de tipo de filtro. El medio filtrante es ordinariamente paño, y es aplicable a gases que tengan poca dosis de humedad y baja temperatura. Para evitar una calda de presión demasiado grande en el sistema, se han estudiado medios conducentes a despejar regularmente el elemento de filtración, sea invirtiendo el sentido de circulación de los gases, sea sacudiendo el paño.

Separadores por la acción de la gravedad.—Estos separadores usualmente tienen la forma de cámaras de polvo o de precipitación. Requieren una cantidad muy grande de sitio en superficie; tienen gran cubicación por unidad de volumen de gases tratados, y su funcionamiento tiene lugar siempre con bajo rendimiento. Para obtener un rendimiento mejor en la captación, la velocidad de los gases tiene que ser reducida a unos 30 m. por minuto, y cuando el volumen de gas es grande, para poder obtener una velocidad tan baja, tiene que recurrirse a una sección transversal sumamente grande, ya que la velocidad que los gases suelen llevar antes de aquella reducción es de unos 300 m. por minuto.

Precipitadores eléctricos y separadores de remolino interior.—En el capítulo relativo a "captación de polvo en las chimeneas," se detallan más tarde estos separadores. Aparte de la separación del polvo acarreado por los gases de la chimenea, dichos separadores se emplean también para la captación de polvo en los secadores de piedra.

Hay una gran diversidad de equipos, pero antes de proceder a la elección,

hay que estudiar cada caso debidamente, y analizar a fondo los datos recogidos en esta forma. Existen determinadas condiciones fundamentales que permiten establecer el tipo y tamaño del equipo más conveniente y adecuado para cada caso. Las más importantes son: (1), características del polvo, es decir, forma de los granos de polvo, finura y densidad de los mismos; (2), volumen y temperatura de los gases; (3), carga de polvo que los gases arrastran; (4) humedad relativa de los gases; y (5), análisis químico de dichos gases.

Para citar un ejemplo de secadores rotatorios de primeras materias, mencionaremos en un caso la desecación de piedra con poca humedad, y en otro la de piedra con mucha humedad. La piedra del primer caso puede ser una piedra de estructura cristalina fina, y la del segundo caso de una estructura esquistosa. En un caso puede emplearse un secador en el que se aproveche la mayor parte del calor de los gases, logrando que la temperatura a que dichos gases salen sea baja, en tanto que en el secador del otro sistema la temperatura de los gases de escape puede ser todavía elevada. La carga de polvo del gas puede ser baja, en un caso, por causa de la estructura de la piedra, mientras que en el otro puede ser considerable. Por consiguiente, lo que da buen resultado en un caso puede ser inadecuado para el otro.

En una fábrica de Pennsylvania hay una instalación de seis "Vorticose" (colectores de polvo de la Dust Recovery, Inc.), que trabajan en combinación con los secadores de piedra. Cada colector trata aproximadamente unos 335 m³ de gases por minuto y capta 450 kg. de polvo por hora. El rendimiento medio de su funcionamiento viene a ser de un 94%; el análisis granulométrico del polvo al tamiz da en el caso ensayado un 1% de residuo sobre el tamiz de 1600 mallas por cm²; un 1,5% de residuo sobre el tamiz de 6200 mallas por cm², después de haber atravesado el de 1600; un 3,5% de residuo sobre el tamiz de 10400 mallas por cm², después de atravesar el de 6200; y atravesando un 94% el tamiz de 10400 mallas por cm².

En una fábrica del Kansas, donde la piedra se deseca por medio de los gases de una caldera de recuperación de calor, se extrae el polvo de 560 m³, en dos fases sucesivas. Los gases a la salida del secador son aspirados a través de un separador de aire que elimina el polvo más grueso mediante la acción de un ventilador, que envía los gases al colector de polvo destinado a separar el polvo fino. Mediante este doble tratamiento de los gases se realiza una recuperación sumamente completa. Esta instalación ha sido hecha por la Clark Dust Collecting Company; la fig. 1 (v. pag. 1129) es una fotografía de otra instalación hecha por esta Compañía, en la que se ven dos colectores de polvo capaces de tratar cada uno de ellos de 1700 a 2000 m³ de gases cargados de polvo por minuto.

En el Reino Unido no hay ninguna fábrica de cemento por vía seca, y por consiguiente, ningún secador de piedra se necesita, como tampoco sus equipos auxiliares anexos de captación de polvo; y como el título de esta serie de artículos los limita a las instalaciones realmente usadas en los tres países, excluirémos las instalaciones construidas por los fabricantes de maquinaria en el Reino Unido con destino al extranjero.

En la fig. 2 (v. pag. 1130) se representa el sistema de la Visco Engineering Company, aplicado a la captación del polvo de cemento procedente de los molinos de clinker. El colector es del tipo de aspiración; el ventilador principal trabaja únicamente con aire ya limpio, y el colector consta de una envolvente de plancha metálica, dividida en departamentos, que contienen tubos filtrantes hechos de un material especial, apropiado para la recuperación de polvo impalpable. A intervalos previamente establecidos, y mientras va efectuando su rotación, cada compartimiento queda aislado de los contiguos por el cierre automático del registro principal de los compartimientos, después de lo cual los tubos que se

encuentran en el compartimiento cerrado son sacudidos mecánicamente. El aire limpio procedente de un ventilador independiente es inyectado a través de los poros del medio filtrante, en dirección contraria a la de circulación normal durante el trabajo. El polvo recuperado cae en una tolva, de la que es extraído por medio de un tornillo.

En la fig. 3 (v. pag. 1132) se ve una instalación de captación de polvo hecha en el Reino Unido por la Sturtevant Engineering Company; dicha instalación trata unos 6000 m³ por hora de aire procedente de los molinos de clinker. El polvo que suele llevar el aire viene a ser de unos 10 g. por m³; primero es aspirado a través de un ciclón, y de allí pasa a un filtro automático, hallándose ambos aparatos bajo la acción de un aspirador. Automáticamente, a intervalos frecuentes y durante la rotación del aparato, cada sección queda sucesivamente aislada por el cierre de la válvula de salida de la sección correspondiente; simultáneamente esta sección se abre hacia la atmósfera, produciéndose una corriente de aire invertida, que circula a través de las mangas, mientras éstas son sacudidas automáticamente al mismo tiempo.

La cantidad de polvo producido depende de las primeras materias y del proceso empleado en la fabricación. Algunas piedras, durante su arranque con explosivos y su trituración producen ordinariamente (como sucede por ejemplo con la "piedra de cemento") una cantidad considerable de polvo, como consecuencia de tales operaciones. En cambio, la greda o marga casi no produce polvo en esta sección de preparación.

En una fábrica de Pennsylvania, que emplea piedra de cemento, el método adoptado para reducir las pérdidas de material en forma de polvo en las canteras durante los meses de verano, era el de emplear una manguera para mojar el material. Según se calculaba, de este modo se evitaba la pérdida, por lo menos de un 2% de material; además triturando el material mojado en esta forma los molinos o machacadoras de martillos producían menos polvo. Puede ser citado un ejemplo de otra fábrica de tipo moderno y de funcionamiento económico, en la que había tanto polvo en la sección de molinos que en el interior del local era imposible distinguir nada a una distancia de 10 metros. Era tan grande la cantidad de polvo que llevaba el aire, que producía accesos de tos sólo con atravesar el edificio; las condiciones eran, pues, malas y antieconómicas.

Uno de los sistemas mas típicos de gran rendimiento en materia de captación de polvo para la sección de molinos es el de un equipo central de extracción de polvo con enlaces con cada uno de los puntos en que se produce polvo.

Es extraído el polvo a la descarga de la machacadora giratoria, en el separador del crudo y asimismo a la salida del molino secundario. Con determinados materiales que producen fuertes cantidades de polvo, se suelen disponer también puntos de extracción en los elevadores. En algunos casos, el polvo va siendo descargado a intervalos regulares sobre el transportador que conduce la piedra triturada al depósito, o bien se envía directamente a los molinos. El primer sistema se emplea usualmente para la vía húmeda y el segundo para la vía seca, porque estableciendo este corto circuito se evitan el coste de recoger las porciones de polvo de los secadores, y la pérdida de calor que se gastaría innecesariamente con ello.

En el Ohio se emplea otro sistema para la captación de polvo de los molinos de clinker, que ha sido también instalado en una fábrica del estado de Nueva York, y es el sistema "Sly." Este sistema, además de mantener la sala de molinos libre de polvo, enfría el cemento desde la temperatura de unos 150°C., a que es descargado por los molinos, hasta unos 100°C. El cemento procedente de los molinos cae por un conducto de sección cuadrada dispuesto verticalmente, en cuyas paredes laterales hay unas aberturas para dar entrada al aire. Un

ventilador va unido al sistema, y se halla dispuesto de forma que pueda aspirar aire frío por dichas aberturas y lo haga circular a contra-corriente por todo el cemento; la porción de cemento que arrastra es depositada en un captador de polvo, desde el que luego pasa a reunirse con la corriente principal de cemento, con la cual se mezcla íntimamente en los transportadores de tornillo.

Un método para enfriar el cemento empleado en una fábrica del Reino Unido, en la que el cemento es transportado a granel por medio de una correa a una distancia de 350 m., consiste en una serie de pequeñas paletas fijas dispuestas a intervalos frecuentes todo a lo largo del transportador, que revuelven continuamente el cemento, y exponen las partes más calientes al contacto del aire.

En las fig. 4 y 5 se ven ejemplos de instalaciones de molinos de los Estados Unidos y del Reino Unido. La fig. 4 (véase pág. 1133) representa cuatro molinos combinados Allis Chalmers, con sus motores eléctricos de accionamiento, instalados en Alabama, Estados Unidos de Norteamérica. Cada molino, cuyas dimensiones son 2,50 por 2,10 por 12,20 m., va accionado por un motor sincrónico de 800 C.V., con mediación de un embrague magnético y de una corana dentada que engrana con un piñón. La fig. 5 (véase pág. 1134) representa los dispositivos de accionamiento de cuatro molinos combinados, de 2,20 m. de diámetro por 11 m. de longitud, instalados en el Reino Unido. En este caso los cuatro motores Crompton Parkinson se hallan directamente acoplados con reductores de engranajes que accionan los molinos por su eje. Estas fotografías ponen de manifiesto las múltiples diferencias de los procedimientos seguidos en los Estados Unidos y en el Reino Unido en la práctica. En Los Estados Unidos es frecuente ver los motores eléctricos y aparatos de accionamiento instalados en el mismo local que el molino, en tanto que en el Reino Unido el equipo eléctrico se halla generalmente separado de los molinos por un tabique hermético al polvo. Hay gran ventaja en esta disposición, porque los aparatos eléctricos pueden hacerse funcionar en condiciones ideales, ya que no sólo queda excluido el polvo de los molinos, sino que puede establecerse una temperatura constante conveniente. Este local suele hallarse cerrado herméticamente y disponer de aparatos adecuados para la reposición del aire.

Otra diferencia existente entre los procedimientos empleados en ambos países es el uso del embrague magnético, que se emplea para el accionamiento de los molinos en las fábricas de cemento de los Estados Unidos. El embrague magnético (véase en uno de los artículos anteriores el epígrafe "Molturación") proporciona un medio más de control en el funcionamiento del molino por el arranque o puesta en marcha gradual y el instantáneo desembrague que procura entre el molino y su motor. En los Estados Unidos se emplean los embragues magnéticos también en otras industrias, especialmente en la de la goma, donde es importante que los rodillos paren instantáneamente. Esto se lleva a cabo mediante un sencillo pulsador combinado con un freno, pues disponiendo de embrague magnético, el mismo mecanismo empleado para interrumpir el circuito del embrague puede ser empleado para aplicar el freno. De esta manera el freno no tiene necesidad de absorber la fuerza viva del inducido del motor. Otra diferencia queda de manifiesto en ambas fotografías, y es la elección de accionamiento por muñón central o en forma periférica (descritos en el artículo "Molturación"); el primero goza de mayor favor en el Reino Unido, en tanto que el accionamiento periférico es más usado que aquél en los Estados Unidos, discutiéndose cuál de ellos ofrece más ventajas.

Captación del polvo de la chimenea.—El valor del polvo recogido en los puntos en que sea necesario, instalar la captación de polvo de la chimenea es una circunstancia que pesa en favor de tal instalación. En los Estados Unidos de Norteamérica hay aproximadamente veintidós instalaciones de precipitación

eléctrica o mecánica, que captan el polvo de las chimeneas. En el Canadá, una gran fábrica de cemento está montando una instalación para la captación mecánica del polvo de la chimenea, siendo interesante mencionar que dicha fábrica se encuentra emplazada en el centro de un núcleo de población; está transformando además su proceso de fabricación, pasando de la vía seca a la vía húmeda, con objeto también de reducir la producción de polvo.

En el Reino Unido, a causa principalmente de que todas las fábricas van por vía húmeda y de que los hornos son por término medio más largos que los empleados en los Estados Unidos, no se suelen emplear separadores de polvo de las chimeneas, ni de tipo eléctrico, ni de tipo mecánico.

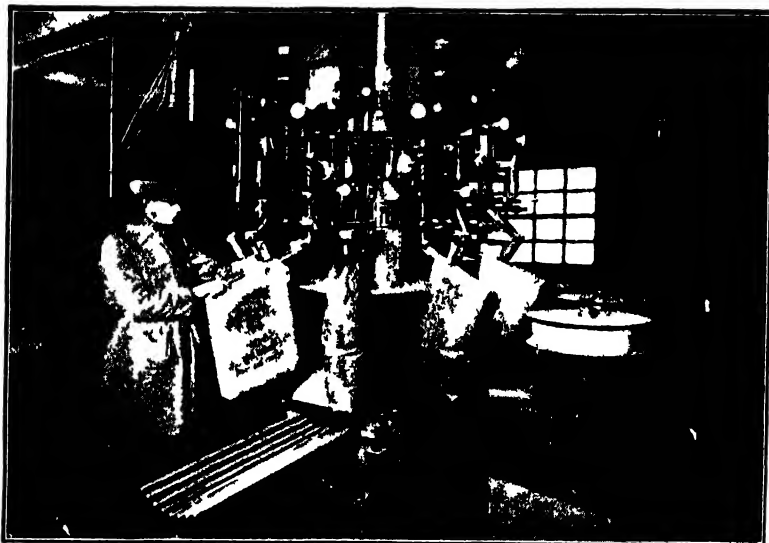
El precipitador eléctrico Lodge-Cottrell, del que hay 18 instalaciones hechas en los Estados Unidos para la captación del polvo de las chimeneas, está formado por numerosos grupos de electrodos contrapuestos, uno de cuyos grupos (los electrodos de descarga) se halla dispuesto de manera que facilite la descarga del tipo corona, y el otro grupo opuesto (electrodos captadores) se encuentra dispuesto en forma adecuada para reducir a un mínimo y aun evitar la producción de descargas en ellos. El sistema de electrodos de descarga va montado sobre aisladores, y de ordinario se halla cargado negativamente respecto a tierra; el sistema de electrodos de captación se conecta a tierra. La diferencia de potencial que hay que mantener entre los electrodos depende de la separación a que tales electrodos se dispongan y de otras circunstancias pero en las aplicaciones a las fábricas de cemento suele ser de 50.000 volts. Se alimentan con corriente de una sola dirección obtenida rectificando corriente alterna de alta tensión. Cuando los gases cargados de polvo pasan entre los electrodos adquieren las partículas una carga eléctrica y son obligadas a separarse de los gases para precipitarse sobre los electrodos, acumulándose en ellos; luego se las hace caer en tolvas, sea sacudiendo o golpeando los electrodos. Tales tolvas destinadas a recoger el polvo que cae de los electrodos se hallan situadas debajo de éstos y están dispuestas de modo que el polvo que recojan pueda ser devuelto al horno. El golpeo o sacudimiento de los electrodos se efectúa generalmente una vez en cada turno. Para recoger el polvo en los hornos rotatorios se ha visto que en lugar de hacer de metal los electrodos de captación era casi siempre preferible hacerlos de un hormigón de cemento Portland preparado especialmente, con varillas metálicas de pequeño grueso en su masa, debidamente conectadas a tierra, dispuestas respecto de los electrodos de descarga en forma tal que se obtenga un máximo de resistencia en serie con el mínimo trayecto de aire, y un mínimo de resistencia en serie con el máximo trayecto de aire. El tamaño de estos electrodos de placa es: 2 m. de anchura por 3,75 m. de altura y 5 cm. de espesor. El mérito de estos electrodos, denominados de "resistencia graduada" estriba en su resistencia interior que impide la localización de la descarga tipo corona. La descarga normal se dispersa y extiende por una amplia región del campo eléctrico, proporcionando de este modo una capacidad mayor de tratamiento de los gases por unidad de volumen del precipitador, y reduciendo las dimensiones del precipitador cuando se parte de una determinada cantidad específica a tratar. Permite que el polvo precipitado se acumule sobre el electrodo en mayor cantidad sin pérdida de su eficacia, y reduce por consiguiente los gastos de explotación; al evitar la localización de la descarga se reduce el gasto de energía. Se asegura que con estos electrodos de "resistencia graduada" se puede tratar un mínimo de 2,800 cm. de gas por minuto con un rendimiento mínimo del 90 %; el espacio necesario para la instalación es de unos 1000 cm.; la energía necesaria para su funcionamiento es de 10 kw. y la mano de obra, de unas 12 horas-hombres por día.

(Continuará)

FLS

Complete Equipment
for
CEMENT WORKS

**New Automatic Packing Machine for Cement.
Rotary Fluxo Packer.**



Protected by patents in all countries.

F.L. SMIDTH & CO., LTD

Engineers

**VICTORIA STATION HOUSE, VICTORIA STREET,
LONDON, S.W.1.**

Telephone FRANKLIN 6107-6108

Telegrams FOLASMIDTH, SOWEST, LONDON

FLS

CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE

PUBLISHED 20TH OF EACH MONTH.

PRICE 2/- A COPY

ANNUAL SUBSCRIPTION 24S POST FREE

PUBLISHED BY CONCRETE PUBLICATIONS LTD.,
20, DARTMOUTH STREET, LONDON, S.W.1.

TELEPHONE: VICTORIA 4561

TELEGRAPHIC ADDRESS
CONCRETE, 1411, LONDON

PUBLISHERS OF

"CONCRETE & CONSTRUCTIONAL ENGINEERING"

"CONCRETE BUILDING & CONCRETE PRODUCTS"

"CEMENT & CEMENT MANUFACTURE"

"THE CONCRETE YEAR BOOK"

"CONCRETE SERIES" BOOKS, ETC.

INDEX TO ADVERTISERS.

BEZUGSQUELLEN.

RÉPERTOIRE des ANNONCES.

DIRECTORIO COMERCIAL.

Allen, Edgar, & Co., Ltd.	ix	Helipebs, Ltd.	xx
Amsler, Alfred J., & Co.	—	Hennefer Maschinenfabrik	—
Andreas Engineering & Construction Co., Ltd.	—	Holman Bros., Ltd.	xviii
Audley Engineering Co., Ltd.	—	Howden, T. C., & Co.	—
Avery, W. & T., Ltd.	xix	Hudson, Robert, Ltd.	xviii
Babcock & Wilcox, Ltd.	xxxii	Humboldt-Deutzmotoren A.-G.	—
Bates International Bag Co.	—	Industrial Driers, Ltd.	—
Beard & Fitch, Ltd.	—	International Baumaschinen-fabrik A.-G.	—
Bleichert, Adolf, A.G.	xxiii	Klockner-Werke A.-G.	xxx
Boudard, H.	—	Kraft Sacks, Ltd.	—
British Rema Manufacturing Co., Ltd.	—	Krupp Grusonwerk	xiii
British Thomson-Houston Co., Ltd.	xxi	Lea Recorder Co., Ltd.	—
Brown, David, & Sons, Hudd., Ltd.	—	Light Railways, Ltd.	—
Brown, John, Thos. Firth & Co., Ltd.	ix	McEwan & Co., Ltd.	—
Bruce Peebles & Co., Ltd.	—	Menck & Hambrook	—
Cambrian Wagon Co., Ltd.	—	Metropolitan-Vickers Electrical Co., Ltd.	—
Chemisches Laboratorium für Tonindustrie	xx	"Miaß" Mühlenbau und Industrie, A.-G.	xxvi, xxvii
Citroën Gear Co., Ltd.	—	Mining & Industrial Equipment, Ltd.	—
Colthrop Board & Paper Mills, Ltd.	—	Mitteldeutsche Mech. Papier-warenfabrik	—
Constantin, E., Ltd.	xii	New Conveyor Co., Ltd.	xv
Crompton Parkinson, Ltd.	xxv	Newell, Ernest, & Co., Ltd.	Front Cover
Curtis, A. L.	—	Paper Sacks, Ltd.	—
Davidson & Co., Ltd.	1260	Pearson, E. J. & J.	xxiv
Davison, Charles, & Co., Ltd.	—	Polysius, G.	—
Deloro Smelting & Refining Co., Ltd.	—	Power Plant Co., Ltd.	—
Diamond Lubricating Co., Ltd.	—	Renold, Hans, Ltd.	xv
Dixie Machinery Manufacturing Co., Ltd.	—	Reuther & Reisert, Ltd.	—
Dowdings, Ltd.	xviii	Richter, Oscar A.	—
Ellison, George	—	Rolland, John, & Co.	xiii
Evrard, F., & R. Frère	—	Ross Patents, Ltd.	xxix
Ewart Chain Belt Co., Ltd.	xvii	Ruston-Bucyrus, Ltd.	xxii
Fellner & Ziegler	xvi	Ruston & Hornsby, Ltd.	—
Firth, Thos., & J. Brown, Ltd.	ix	Seck Machinery Co., Ltd.	xxvi, xxvii
Fours Rousseau	—	Smidth, F. L., & Co., Ltd.	ii, iii
Fraser & Chalmers Engineering Works	—	Société Anonyme des Excavateurs Normand & D'Haille	—
Frère, R., & F. Evrard	—	Steam Plant Accessories, Ltd.	—
Fuller Company	xii	Stein, John G., & Co., Ltd.	v
General Electric Co., Ltd.	—	Taylor, J. Darnley, & Co., Ltd.	xiv, xvi
General Refractories Co., Inc.	—	Telegraph Condenser Co., Ltd.	—
Glover, W. T., & Co., Ltd.	xxviii	Tonindustrie, G.m.b.H.	xx
Green Firebrick Co., A. P.	—	Vereinigte Stahlwerke, A.-G.	* vii
Grueber	—	Vickers-Armstrongs, Ltd.	x, xi & xxxiii
Haver & Boecker	xiv	Visco Engineering Co., Ltd.	1259

JOHN G. STEIN & CO., LTD.

BONNYBRIDGE SCOTLAND

Fabricants de
refractaires de
qualité supérieure
pour garnissage de
fours rotatifs de
cimenteries.

Nos briques re-
fractaires de
marque " Nettle "

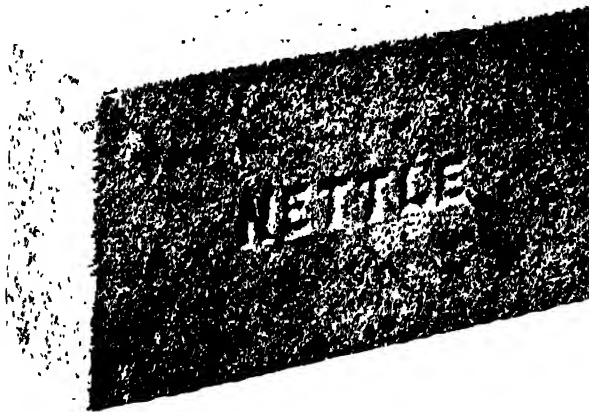
Fabrikanten eines
hochwertigen feuer-
festen Futters für
Zementdrehöfen.

Unsere feuerfe-
sten Steine Marke
" Nettle " sind

Fabricantes de
refractarios de alta
calidad para revestimientos de hornos
rotatorios de
cemento.

Nuestros ladrillos
refractarios, marca

**MANUFACTURERS
OF HIGH GRADE
REFRACTORIES
FOR ROTARY
CEMENT KILN
LININGS**



conviennent égale-
ment bien pour les
zones de refroidis-
sement et de gril-
lage au pur, et elles
ont donné d'excel-
lents résultats dans
les cimenteries par-
tout en Grande
Bretagne.

Notre service
technique est à
votre disposition.

**NOUS SOMMES LES
FABRICANTS DE RE-
FRACTAIRES LES PLUS
IMPORTANTS DE L'EM-
PIRE BRITANNIQUE.**

sowohl für die
Kühl- wie Sinter-
zone des Ofens
geeignet und haben
sich in Zement-
fabriken Gross-
Britanniens hervor-
ragend bewährt.

Unsere technische
Abteilung steht zu
Ihrer Verfügung.

**WIR SIND DIE
BEDEUTENDSTEN
FABRIKANTEN IM
BRITISCHEN REICH.**

" Nettle," son muy
adecuados, igual-
mente, para las
zonas de refrigera-
ción y de calcina-
ción del horno, y
han rendido ser-
vicio excelente en
las fábricas de
cemento de toda la
Gran Bretaña.

Nuestro servicio
técnico queda a su
disposición.

**SOMOS LOS MAYORES
FABRICANTES DE L
IMPERIO BRITÁNICO.**

BRANDS.

**NETTLE
THISTLE
STEIN
JGS&CO**

BLUEBELL
(95% Silica).

Our "Nettle" Brand
Firebricks are very
suitable for both the
cooling and burning
zones of the kiln and
have given excellent
service in cement
works throughout
Great Britain.

Our Technical
Service is at your
disposal.

We are the Largest
Makers in the British
Empire.

CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE

Trades Directory.

Bezugsquellen. Répertoire des Adresses. Directorio Clasificados.

AIR SEPARATORS

Séparateurs à air
Windsichter
Separadores de aire

Alpine A.-G.
Andreas, G.m.b.H.
Boudard, H.
Davidson & Co., Ltd.
Visco Engineering Co., Ltd.

BAGS & SACKS (Paper)

Papier-und Stoffsäcke
Sacs en papier
Sacos

Bates International Bag Co.
Colthrop Board & Paper Mills, Ltd.
Dowdings, Ltd.
Kraft Sacks, Ltd.
Paper Sacks, Ltd.

BELTING

Treibriemen
Courroies
Correas

Beldam Packing & Rubber Co., Ltd.
Dawson, James, & Son, Ltd.
Lewis & Tylor, Ltd.
Reddaway, F., & Co., Ltd.

BOILERS

Kessel
Chaudières
Calderas

Babcock & Wilcox, Ltd.

BUCKETS (Elevator and Conveyor)

Becher für Elevatoren und Transporteure

Godets pour élévateurs
Cangilonos (en los elevadores y transportadores)

Bleichert, Adolf, A.-G.
Sté. Ame. des Excavateurs Normand & D'Haille.

CABLEWAYS

Seilbahnen
Transporteurs aériens
Cables Vías de cable

Bleichert, Adolf, A.-G.

CASTINGS

Gehäuse
Moulages d'acier

Piezas de fundición

Brown, John, & Co., Ltd.
Krupp Grusonwerk A.-G.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

CLUTCHES

Kupplungen
Embrayages
Embraques

Broadbent, Thomas, & Sons, Ltd.
Power Plant Co., Ltd.
Wigglesworth, F., & Co., Ltd.

CONTROLLERS (Electric)

Elektrische Schaltanlagen
Combinateurs électriques
Controlos o reguladores (eléctricos)

Ellison, George.
Reyrolle, A., & Co., Ltd.

CONVEYORS & ELEVATORS

Transporteure und Elevatoren
Transporteurs et Elevateurs
Transportadores y elevadores

Andreas, G.m.b.H.
Bleichert, Adolf, A.-G.
Constantin, E.
Ewart Chain Belt Co., Ltd.
Fraser & Chalmers Engineering Works.
Hepburn Conveyor Co., Ltd.
Lewis & Tylor, Ltd.
New Conveyor Co., Ltd.
Polysius, G., A.-G.
Renold, Hans, Ltd.
Sté. Ame. Des Excavateurs Normand & D'Haille.

CRANES

Krane
Grues
Grúas

Balcock & Wilcox, Ltd.
Broadbent, Thomas, & Sons, Ltd.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

CRUSHERS

Brecher
Broyeurs et Cribbles
Trituradoras

Allen, Edgar, & Co., Ltd.
Andreas, G.m.b.H.
Boudard, H.
Bradley Pulverizer Co.
British & Foreign Machinery Co.
British Rema Manufacturing Co., Ltd.
Candlot, Ch.-E.
Dixie Machinery Manufacturing Co.
Johnson, Wm., & Sons (Leeds), Ltd.
Krupp Grusonwerk A.-G.
Miaß Mühlenbau und Industrie A.-G.
Mining & Industrial Equipment, Ltd.
Pfeiffer Gebr.
Smith, F. L., & Co., Ltd.
Vickers-Armstrongs, Ltd.
Polysius, G., A.-G.

DRAGLINE EXCAVATORS

Bagger mit Leitseil
Excavateurs à câbles
Excavadoras o dragas de cable

Bleichert, Adolf, A.-G.

Continued on page viii.

DRILLS, ROCK

Gesteinsbohrer
Perforatrices

Taladros, perforadoras o barrenadoras para roca
Sullivan Machinery Co., Ltd.

DUST COLLECTING PLANT

Staubabscheidungssysteme
Collecteurs de poussières
Sistemas de captación de polvo

Alpine A.-G.
Andreas, G.m.b.H.
Boudard, H.
Davidson & Co., Ltd.
Mining & Industrial Equipment, Ltd.
Polysius, G., A.-G.
Visco Engineering Co., Ltd.

ELECTRIC CABLES AND WIRE

Elektrische Kabel und Drähte

Câbles électriques
Cables y alambres eléctricos
Glover, W. T., & Co., Ltd.

ENGINES (HEAVY OIL)

Kraft-Maschinen Stationäre (Rohöl - Verbrennungsmotore)

Moteurs à huile lourde
Motores (aceite pesado)

Ruston & Hornsby, Ltd.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

EXCAVATING MACHINERY

Löffelbagger

Excavateurs

Maquinaria excavadora

Ruston-Bucyrus, Ltd.
Smith, F. L., & Co., Ltd.
Menck & Hambrook A.-G.

FANS

Ventilatoren

Ventilateurs

Ventiladores

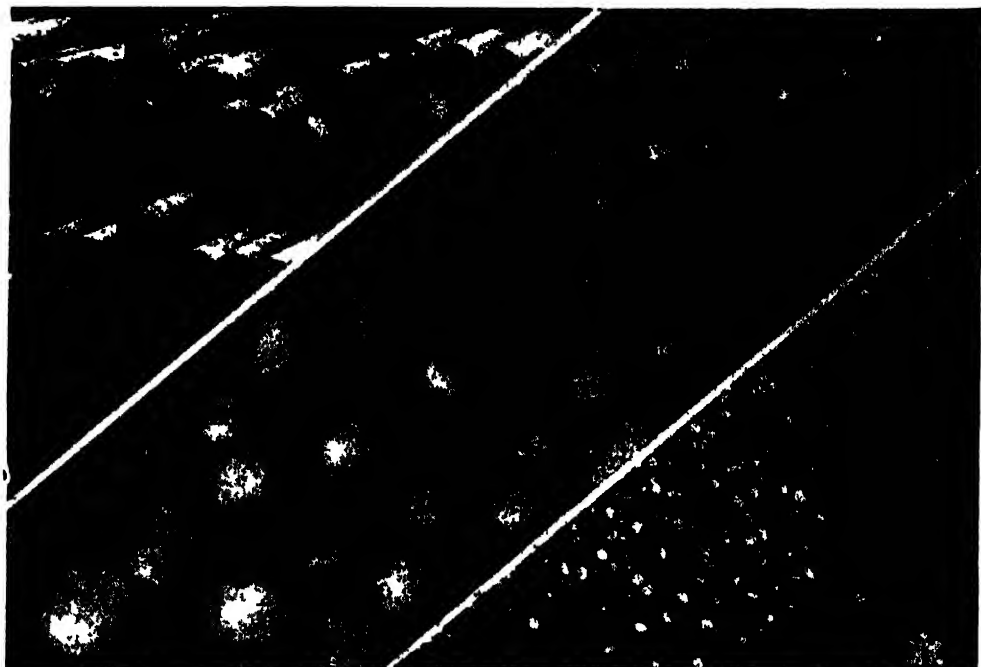
Davidson & Co., Ltd.
General Electric Co., Ltd.

GEARS (HELICAL)

Schraubenräder

Engrenages hélicoïdaux
Mecanismo o engranaje (helicoïdal)

Brown, David, & Sons, Ltd.
Krupp Grusonwerk A.-G.
Luth & Rosen, Ltd.
Platt, Samuel, Ltd.
Power Plant Co., Ltd.
Société Anonyme Des Engrenages Citroën.
Wallwork, H., & Co., Ltd.



"Stahlunion" Forged Steel Balls

for all kinds of Grinding Mills, manufactured of steel of natural hardness in the most careful execution.

We also supply **Cylpebs** and **Grinding Rods**, brand "Stahlunion" from the same high grade natural hard steel.

Geschmiedete Stahlkugeln Marke "Stahlunion"

aus naturhartem Spezialstahl in sauberster Ausführung für alle Kugelmühlen.

Aus dem gleichen hochwertigen naturharten Stahl liefern wir **Cylpebs** und **Mahlstäbe** Marke "Stahlunion."

Boulets en acier forgés Marque "Stahlunion"

en acier spécial de dureté naturelle, exécution la plus soignée, pour tous broyeurs à boulets. Nous livrons également les **Cylpebs** et les **Batons** marque "Stahlunion" dans le même acier, de dureté naturelle, à haute résistance.

Bolas de acero forjado, marca "Stahlunion"

de acero especial de dureza natural, de esmerada ejecución, para molinos a bolas de todas clases.

De la misma alta calidad de acero, de dureza natural, suministramos también **cylpebs** y **barras** para molinos, marca "Stahlunion."

VEREINIGTE STAHLWERKE

A K T I E N G E S E L L S C H A F T

HÜTTE RUHRORT-MEIDERICH, DUISBURG-RUHRORT

GERMANY DEUTSCHLAND ALLEMAGNE ALEMANIA



Trades Directory.—(Continued from page vi).

Bezugsquellen.

GRINDING BALLS

Mahlkugeln

Boulets en acier pour
broyeurs

Bolas mouturadoras

Broyeurs Société des T.M.
Engins.
Heliopols, Ltd.
Klockner Werke, A.-G.
Kordt & Rosch, A.-G.
Vereingte Stahlwerke A.-G.

HOISTING MACHINERY

Aufzüge

Appareils de levage

Elevadores

Fraser & Chalmers Engineering
Works
General Electric Co., Ltd.
Ruston & Hornsby, Ltd.
Sullivan Machinery Co., Ltd.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

KILN LININGS

Ofenfutter

Produits réfractaires

Forno o revestimiento del horno

Curtis, A. L.
Davidson, Charles, & Co., Ltd.
General Refractories Co.
Gibbons (Dudley), Ltd.
Green, A. P., Firebrick Co.
Pearson, H. J. & J., Ltd.
Stein, J. G., & Co., Ltd.

KILNS AND COOLERS (Rotary)

Drehöfen und Kühler

Fours rotatifs

Hornos y enfriadores (rota- torios)

Allen, Edgar, & Co., Ltd.
Andreas, G. m. b. H.
Fellner & Ziegler.
Grueber, Curt von.
Head, Wrightson & Co., Ltd.
Johnson, Wm., & Sons, Ltd.
Krupp Grusonwerk A.-G.
Newell, Ernest, & Co., Ltd.
Mig. Mühlenbau und Industrie,
A.-G.
Polysius, G., A.-G.
Smidth, F. L., & Co., Ltd.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

KILNS (SHAFT)

Schachtöfen

Fours Verticaux

Hornos (verticales)

Andreas, G. m. b. H.
Bouldard, H.
Candlot, Ch.-E.
Krupp Grusonwerk, A.-G.

LUBRICANTS

Schmiermittel

Lubrifiants et huiles

Lubrificantes

Diamond Lubricating Co., Ltd.

PUMPS (CEMENT)

Zementpumpen

Pompes pour pâte à ciment

Bombas para cemento

Constantin, E.

Répertoire des Adresses.

MILLS, GRINDING

Möhlen

Broyeurs

Molinos

Allen, Edgar, & Co., Ltd.
Andreas, G. m. b. H.
Fellner & Ziegler.
Grueber, Curt von.
Head, Wrightson & Co., Ltd.
Humboldt-Deutzmotoren A.-G.
Johnson, Wm., & Sons, Ltd.
Krupp Grusonwerk A.-G.
Newell, Ernest, & Co., Ltd.
Mig. Mühlenbau und Industrie
A.-G.
Pfeiffer, Gehr., A.-G.
Polysius, G., A.-G.
Smidth, F. L., & Co., Ltd.
Vickers-Armstrongs, Ltd.

MOTORS AND GENERA- TORS (Electric)

Elektrische Motore und Generatoren

Générateurs et Moteurs Electriques

Motores y generadores (eléctricos)

Brice Pebles & Co., Ltd.
Crompton Parkinson, Ltd.
General Electric Co., Ltd.

PACKING MACHINERY

Packmaschinen

Ensacheuses automatiques

Maquinaria de envasado

Andreas, G. m. b. H.
Bates International Bag Co.
Haver & Boecker
Labrawerk, m. b. H.
Paper Sacks, Ltd.
Polysius, G., A.-G.

PACKINGS

Packungen

Garnitures de presse- étoupes

Envasés

Beldam Packing & Rubber Co.,
Ltd.

PULVERIZERS

Mahlmaschinen

Broyeurs à charbon et coke

Pulverizadores

Boudard, H.
Bradley Pulverizer Co.
British Rema Manufacturing Co.,
Ltd.
Grueber, Curt von
Johnson, Wm., & Sons (Leeds),
Ltd.
Mining & Industrial Equipment,
Ltd.

RAILWAY EQUIPMENT

Bahnmaterial

Equipo ferroviario

Hudson, Robert, Ltd.

REFRACTORIES

Feuerfeste Materialien

Produits réfractaires

Refractarios

Curtis, A. L.
Davidson, Charles, & Co., Ltd.
General Refractories Co.
Gibbons (Dudley), Ltd.
Goss, G. P., & Co.
Stein, J. G., & Co., Ltd.

Directorio Clasificados

SAND (Cement Testing)

Sand zur Zementprüfung

Sable pour essais de ciment

Arena (ensayos del cemento)

Curtis, A. L.

SCREENS

Siebe

Tamis

Tamices

Lorcker, Thomas, & Co., Ltd.
Mining & Industrial Equipment,
Ltd.

SLURRY MIXERS

Schlammmischer

Malaxeurs

Mezcladores de pasta, amasadoras

Andreas, G. m. b. H.
Newell, Ernest, & Co., Ltd.

TESTING MACHINES & APPARATUS

Prüfmaschinen und Ap- parate

Machines à essayer

Aparatos de ensayos

Avery, W. & T., Ltd.
Amster, Alfred J., & Co.
Bailey, Sir W. H., & Co., Ltd.
Beard & Petch, Ltd.
Chemisches Laboratorium für
Tonindustrie
Howden, T. C., & Co.
Macklow-Smith, A.
Richter, Oscar A.
Saltor, G., & Co., Ltd.

VALVES

Ventile

Vannes

Válvulas

Alley & MacLellan, Ltd.

WASTE HEAT BOILERS

Abhitzeessel

Chaudières (à chaleur perdue)

Calderas de aprove- chamiento de calor per- dido

Babcock & Wilcox, Ltd.
Candlot, Ch.-E.

WASTE HEAT

RECOVERY SYSTEM

System zur Wieder-

gewinnung von Abwärme

Récupération des chaleurs perdus

Sistema de recuperacion de calor perdido

Industrial Driers, Ltd.

WEIGHERS

Waagen

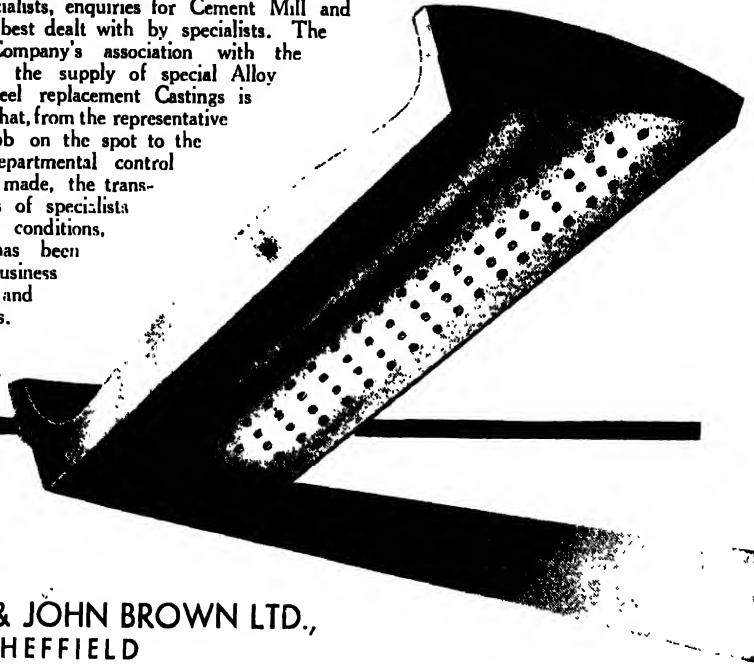
Basculas automaticas

Pesadores

Avery, W. & T.
Boudard, H.
Denison, Saml. & Sons, Ltd.
Polysius, G., A.-G.

GRINDING PLATES

IN an age of Specialists, enquiries for Cement Mill and Crusher Parts are best dealt with by specialists. The success of this Company's association with the problems surrounding the supply of special Alloy Steels and Alloy Steel replacement Castings is largely due to the fact that, from the representative who examines the job on the spot to the man under whose departmental control the actual parts are made, the transaction is in the hands of specialists whose knowledge of conditions, steels and service has been gained in the actual business of Cement Mill and kindred businesses.



*Write for further details
of Brown's Castings for
Grinding, Pulverising and
Cement Mills. Their
experience is at your
disposal for the asking*

THOS. FIRTH & JOHN BROWN LTD.,
SHEFFIELD

Primary Rock Crushers

Jaw Crushers — Gyratory Crushers — Fairmount Crushers

Edgar Allen Crushers are simple in construction, with all parts readily accessible. Imperial manganese steel is used for the main crushing members.

These features ensure long life and freedom from frequent shut-downs for repairs, uniformity of product and low cost.

Particulars sent on request.

Edgar Allen & Co., Ltd.
Imperial Steel Works,
Sheffield.

VICKERS-

CEMENT MAKING MACHINERY



Published by Courtesy of the Green Island Cement Co.

ROTARY KILNS, BALL MILLS, TUBE MILLS,
DRIERS, CRUSHERS, CRUSHING ROLLS,
MIXERS, AGITATORS, ETC.



ARMSTRONGS LIMITED

The illustration shows two of the Vickers Patent Rotary Reflex Kilns in course of erection at the new works of the Green Island Cement Co., Ltd., Hongkong. These kilns form part of the contract for a complete works having a capacity of 2,000 tons of cement per week, secured by Vickers-Armstrongs Ltd.

La figure montre deux des fours rotatifs Reflex Vickers, en cours de montage aux nouvelles Usines de la Green Island Cement Co., Ltd., à Hongkong. Ces fours forment une partie d'un contrat relatif à une usine ayant une capacité de 2,000 tonnes de ciment par semaine, assuré par VICKERS-ARMSTRONGS LTD.

Die Abbildung zeigt zwei der patentierten Vickers-Reflex-Drehöfen während der Montage auf dem neuen Werk der Green Island Cement Co., Ltd., Hongkong. Diese Öfen bilden einen Teil des, der Firma Vickers-Armstrongs Ltd., erteilten Auftrages für die vollständige Fabrik mit einer wöchentlichen Kapazität von 2,000 t Zement.

La figura representa dos de los hornos rotatorios Reflex patente Vickers, durante su montaje en la nueva fábrica de la Green Island Cement Company, Limited, de Hongkong. Estos hornos forman parte del pedido de una fábrica completa para una capacidad de 2,000 toneladas semanales de cemento, obtenido por la Vickers-Armstrongs Limited.

All Enquiries to Works:

BARROW - IN - FURNESS.

Head Office: VICKERS HOUSE,
BROADWAY, LONDON, S.W.1.

BULK CEMENT v. SACKS



**IMPORTANT !
FULLER - KINYON
COST - REDUCING
SYSTEMS.**

WHICH IS BETTER ?

Any quantity from silos to depot in one operation at less than 6d. a ton—or one cwt. in one sack with its very high handling costs.

The FULLER-KINYON portable unloader for bulk cement is now being used by a large number of cement organisations throughout the world, because bulk cement reduces transport costs and gives a better service.

PORTABLE UNLOADER FOR BULK CEMENT

No. 4.

MIXING AND BLENDING

The FULLER - KINYON SYSTEM for raw material mixing and blending has been used with remarkable success in many cement works in Europe, because of its complete automatic control and the minimum amount of supervision required. This method is applicable to almost any local condition. Let us send you designs for the installation of this system in your works. It will be sent free of cost.

The FULLER-KINYON PORTABLE UNLOADER will pump cement to any number of delivery points by one operation from the one machine. The rate of delivery is up to 35 tons an hour through a pipe line of 100 feet. The total cost of handling this quantity, including labour and power, is less than 10s. The whole operation is simple, and very little physical effort is required. Write to us for full particulars of the capacities and types of the Fuller-Kinyon bulk cement unloader.

E. CONSTANTIN, LTD.

105, RUE LAFAYETTE, PARIS.

Telegrams : "Fullengeoy, Paris."

Sole Licences (except for pulverised coal) for England and France, Holland, Belgium, Luxembourg, Switzerland, Spain, Portugal, and their respective colonies.

Patentees : THE FULLER COMPANY, CATASAUQUA, PENNA., U.S.A.

RAPID SINTERING RAPID COOLING

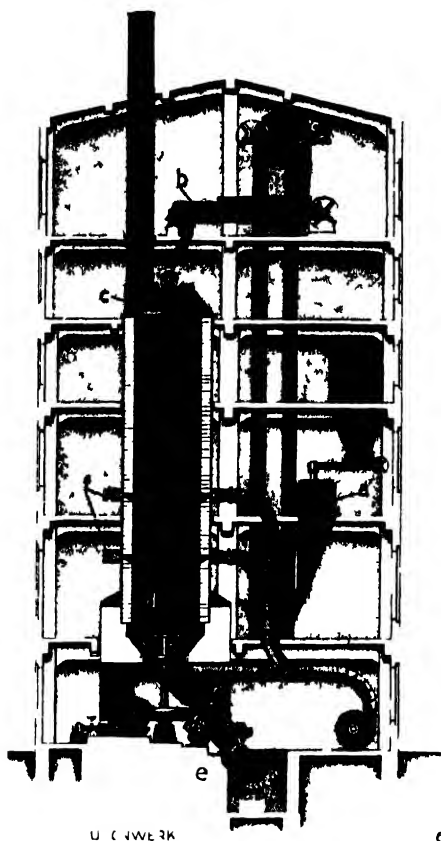
THE HIGH DUTY SHAFT KILN

Type KRUPP-
GRUSONWERK
ANDREAS

produces excellent
clinker at a high
rate of output.

Sintering is effected quickly in
a very narrow sintering zone,
and an intensive cooling of
the clinker takes place imme-
diately below this zone (by a
new system of air ducts).

ASK FOR OUR EXPLANATORY
PAMPHLET.



FRIED. KRUPP GRUSONWERK A.G.
MAGDEBURG (Germany).

Sole Agents in Great Britain and Ireland :--

J. ROLLAND & CO.,
ABBAY HOUSE, VICTORIA STREET, LONDON, S.W.1.
Tel. Nos.: VICTORIA 4847, 1328.

En France, plus de 50 ensacheuses "Modern" sont en service constant. Cette importante cimenterie a installé 7 machines "Modern." Nous construisons des machines automatiques à ensacher et à peser avec un à quatre ajutages, pour sacs à valve.

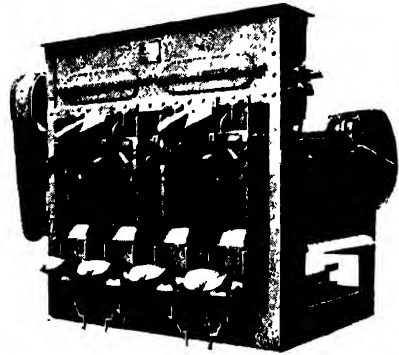
En Francia hay más de 50 envasadoras "Modern" en funcionamiento constante. Esta importante fábrica de cemento ha instalado 7 máquinas "Modern." Construimos máquinas automáticas de ensacar y pesar con uno a cuatro picos para sacos con válvula.



In France upwards of
50 "MODERN" Packers
are in constant operation.

This important Cement Works has installed 7 "MODERN" Machines.

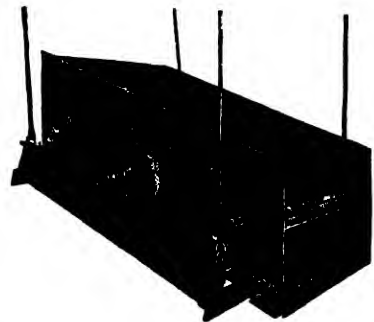
We build automatic Packing and Weighing machines with one to four spouts for valve bags.



"NIAGARA" Vibrating Machines for screening Limestone from the crushers, screening Slurry during grinding, screening Cement for pneumatic transport, and automatic packing, etc.

Les machines à vibrations "NIAGARA" pour Cribler le calcaire sortant des broyeurs, Tamiser la boue pendant le broyage, Tamiser le ciment pour le transport pneumatique et l'ensachage automatique, etc.

Maquinas vibradoras "NIAGARA" para cerner piedra caliza de las macharadoras, cerner pasta durante la molturación, cerner cemento para el transporte neumático y envasado neumático, etc.



WIRE TIES for open bags, etc.

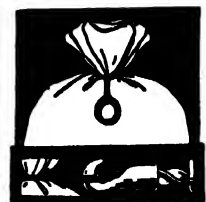
Liens en fer pour sacs ouverts, etc.

Ligaduras de alambre para sacos abiertos, etc.

HAVER & BOECKER, OELDE, i.W., Germany.

Sole British Agents:—

J. DARNLEY TAYLOR & Co., Ltd., Cecil Chambers, Strand, W.C.2.
Temple Bar 7358.



For the Direct Coupling of Shafts— specify RENOLD Chain Couplings

THEY are flexible in operation, and being of all steel construction, are durable and reliable.

Installation is an easy matter whilst the drive can be disconnected by the detachment of one Chain-joint, which enables the Chain to be removed without disturbing the shafts.

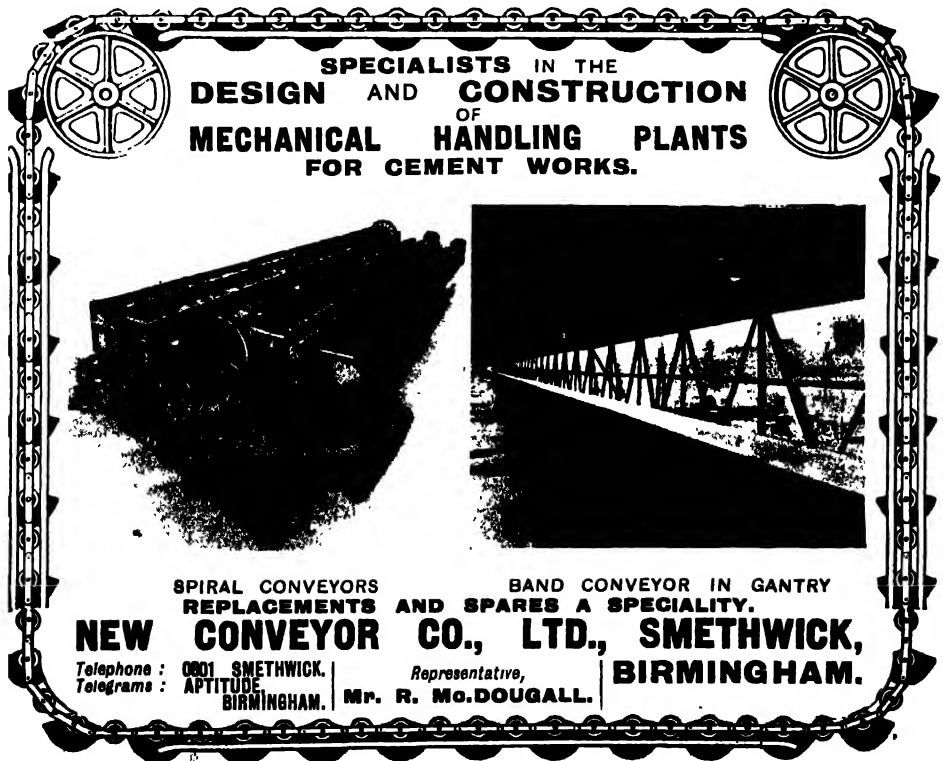
Their enclosure by light oil-retaining aluminium covers permits their running for extended periods without attention, with beneficial results of smooth driving and long service.

As stock products, Renold Chain Couplings comprise a range to transmit up to 600 H.P., and immediate delivery can be given from Works or Depots.

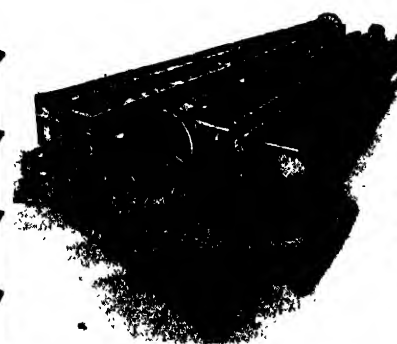



Send for Leaflet Ref. No. 216/03.

HANS RENOLD LIMITED, MANCHESTER, ENGLAND



**SPECIALISTS IN THE
DESIGN AND CONSTRUCTION
OF
MECHANICAL HANDLING PLANTS
FOR CEMENT WORKS.**

**SPIRAL CONVEYORS
REPLACEMENTS AND SPARES A SPECIALITY.**

**NEW CONVEYOR CO., LTD., SMETHWICK,
BIRMINGHAM.**

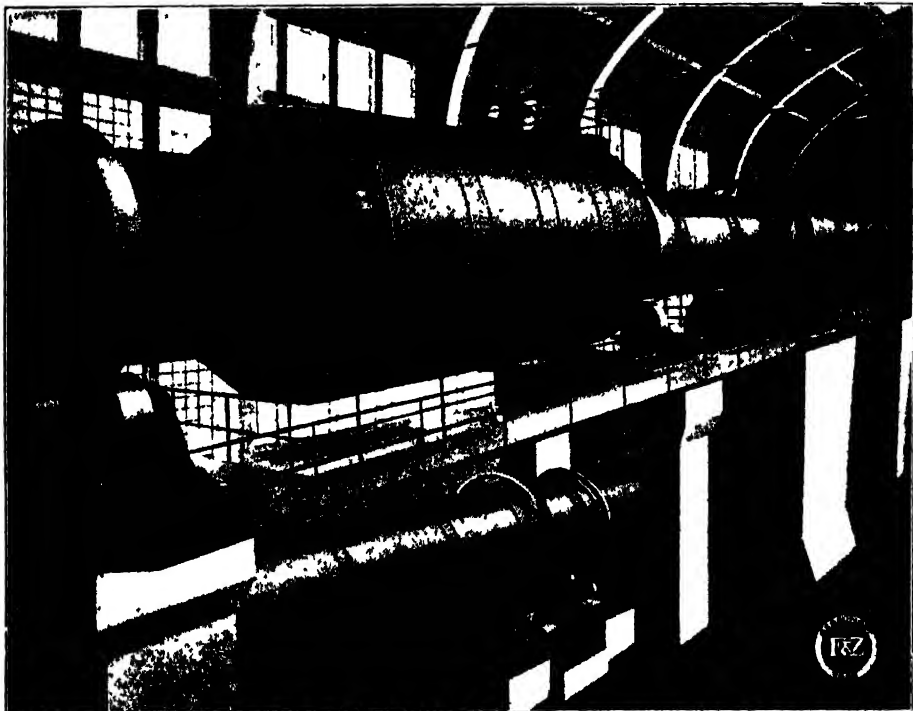
Telephone : 0801 SMETHWICK.
Telegrams : APTITUDE
BIRMINGHAM.

Representative,
MR. R. McDOUGALL.

FELLNER & ZIEGLER

FRANKFORT on MAIN-WEST, GERMANY.

A.-G.



COMPLETE INSTALLATIONS FOR CEMENT WORKS



The above is an illustration of one of our rotary Kiln installations 16+ feet long by 10 feet diameter, provided with our patent enlarged calcination zone 30 feet long by 17 feet diameter, and waste heat boiler plant. The output is 300 tons per day of highest quality uniformly burnt clinker produced at lowest possible fuel consumption.

Sole Representatives for British Territories:
J. DARNLEY TAYLOR & CO., LTD., Engineers,
 Cecil Chambers, Strand - - - London, W.C.2.
 Telephone No.: Temple Bar 7358 Telegrams: "Idryall, Rand, London."

INSTALACIONES COMPLETAS DE FABRICAS DE CEMENTO

Esta figura representa una instalacion de hornos giratorios de 3 m de diametro y de 50 m de largo, con zona de calcinacion ensanchada de 5 m de diametro y 9 m de largo, con recuperacion de los gases de escape. Con un rendimiento de 300 toneladas por dia, fornece un clinker uniforme de mejor calidad, el consumo de combustible siendo reducido lo mas posible.

FELLNER & ZIEGLER A.-G.
 Frankfurt a/M.-West, Alemania.

VOLLSTÄNDIGE EINRICHTUNG VON ZEMENTFABRIKEN

Diese Abbildung stellt eine Drehofen-Anlage von 3 m Durchmesser und 50 m Länge mit patentierter erweiterter Kalzinierungszone von 5 m Durchmesser und 9 m Länge, unter gleichzeitiger Verwendung der Abhitze, dar. Bei einer Leistung von 300 Tonnen täglich liefert sie bei niedrigstem Brennstoffverbrauch einen gleichmassigen hochwertigen Klinker.

FELLNER & ZIEGLER, A.-G.
 FRANKFORT, a/M.-WEST.

INSTALLATIONS COMPLÈTES D'USINES À CIMENT

Cette figure représente une installation de fours rotatifs de 3 m de diamètre et d'une longueur de 50 m, à zone élargie de calcination brevetée d'un diamètre de 5 m et d'une longueur de 9 m, avec récupération des gaz perdus. Ayant un rendement de 300 tonnes par jour, elle fournit un clinker régulier de la meilleure qualité, en réduisant même temps autant que possible la consommation du combustible.

FELLNER & ZIEGLER, A.-G.
 Frankfurt a/M.-West, Allemagne.

CONVEYORS



Inclined bucket elevator for coal Any required capacity and centres.

Whatever the requirements for conveyors or elevators, Ewart Chainbelt Co., Ltd., with over fifty years experience, can meet any problems and, at the same time, provide a system which is not only reliable and extremely durable, but which will take the minimum of power for its operation. Enquiries are invited and advice will be gladly given in connection with any projected scheme.

EWART

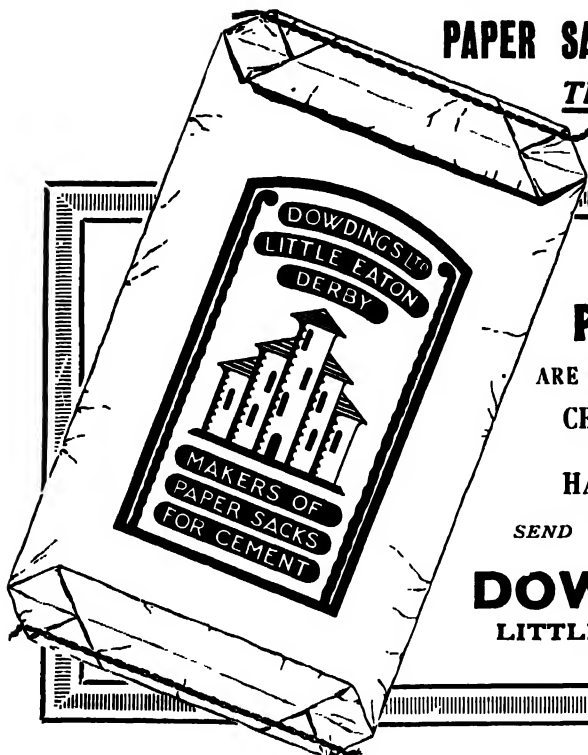
CHAINBELT CO. LTD., DERBY, ENGLAND

Telegrams: "Chainbelt, Derby."

Telephone: Derby 139

PAPER SACKS FOR ALL PURPOSES

THE MOST RELIABLE
FOR EXPORT TRADE.



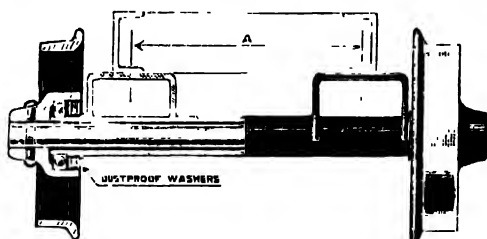
OUR PAPER SACKS

ARE MORE ECONOMICAL FOR THE
CEMENT MANUFACTURER
AND
HANDIER FOR THE USER.

SEND FOR FULL PARTICULARS.

DOWDINGS LTD.
LITTLE EATON, DERBY,
ENGLAND.

LUBRICATE YOUR TRUCKS ONCE A YEAR!



**SAVE 85% IN LUBRICATION,
75% IN STARTING EFFORT
& 50% IN HAULAGE POWER.**

Best quality Ball or Roller Bearings. Patent greasing system, only requires attention once a year. Great saving in grease, time and labour. Longer life, easier handling, greater output. **WRITE FOR FULL PARTICULARS** of both types, continuous axle and differential.

LONDON:
SUFFOLK HOUSE,
CANNON STREET,
E.C.4.

ROBERT HUDSON LTD.
38^A BOND ST., LEEDS
Works: GILDERSOME FOUNDRY, near LEEDS.

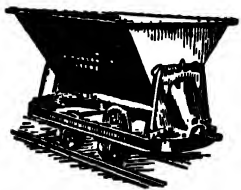
Telegrams & Cables (all offices): "RALETRUX."

USE
HUDSON'S PATENT
**BALL-BEARING
WHEELS
& AXLES**

Hudson's are actual makers of:-

**TIPPING
WAGONS**

TRACK and ALL ACCESSORIES, STEAM & DIESEL LOCOS, Etc.



Also at
Johannesburg, Durban,
Salisbury, Bulawayo,
Beira, Luanda, Lobito,
Mauritius, Singapore,
Cairo and Calcutta.

If your raw materials remain untested you face the danger of faulty products damaging your goodwill or swelling your scrap heap. By carrying out physical tests you obtain a positive asset towards bigger profit. One Avery Testing Machine will prove the suitability of specified material; cut down waste in working-up operations; ensure efficiency of finished productions; and enable you to give a guarantee of quality.

Wenn Ihr Rohmaterial nicht geprüft wird, laufen Sie die Gefahr, einer fehlerhaften Produktion, schädigen Ihren guten Ruf oder vermehren Ihren Schrotthaufen. Bei Durchführung von physikalischen Prüfungen sichern Sie sich also eine Erhöhung der Gewinne. Eine Avery — Prüfmaschine prüft die Brauchbarkeit des Materials, vermindert den Ausschuss im Arbeitsvorgang, verbürgt die hohe Qualität des fertigen Erzeugnisses und ermöglicht Ihnen dafür Garantie zu geben.

Si vos matériaux bruts n'ont pas subi des essais très sérieux, vous risquez d'obtenir des produits défectueux, portant préjudice à votre bonne réputation et, en tous cas, augmentant vos déchets. Des essais physiques vous assureront une augmentation de vos bénéfices. Une machine "AVERY" vous donnera la possibilité d'effectuer ces essais, en supprimant les pertes de temps dues aux tâtonnements dans les opérations préliminaires.

Assurez-vous de la perfection de votre fabrication et donnez-vous la possibilité d'une garantie.

Si no somete Ud. a prueba sus materias primas, corre el riesgo de perjudicar su reputación con productos defectuosos o de aumentar su montón de desperdicios. Al efectuar ensayos físicos da Ud. un paso decisivo hacia la obtención de un mayor beneficio. Una máquina de ensayos Avery probará la adecuación del material especificado; reduzca o suprima todo desperdicio en las operaciones de producción; asegure la eficiencia de los productos terminados; capacítese para poder dar una garantía de calidad.



Write for full particulars and Handbook T127 to:—
W. & T. Avery Ltd., Soho Foundry, Birmingham, England.

Verlangen Sie Angebot and Prospekte von:—

W. & T. Avery Ltd., Soho Foundry, Birmingham, England.

Ecrivez pour tous renseignements à:—

W. & T. Avery Ltd., Soho Foundry, Birmingham, Angleterre.

Escriba pidiendo detalles completos a:—

W. & T. Avery Ltd., Soho Foundry, Birmingham, Inglaterra.

PATENTS AND REGISTERED TRADEMARKS—

" HELIPEBS " " BALLPEBS " " CHROMOIDS "
" HOLPEBS " " TWYNPEBS " " HELLOIDS "

FOR 20
YEARS

PIONEERS

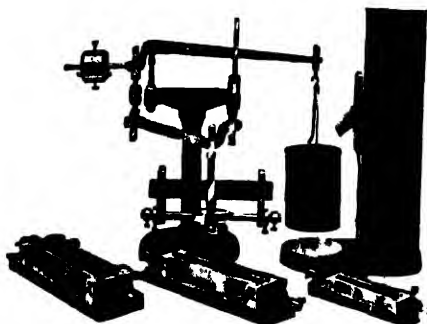
FOR 20
YEARS

IN THE MANUFACTURE OF
GRINDING MEDIA
FOR THE CEMENT INDUSTRY

HELIPEBS LIMITED
— PREMIER WORKS —
GLOUCESTER, ENG.

MATERIAL TESTING EQUIPMENT

for tests on Cement, Concrete, Trass, Lime, Plaster, Asphalt

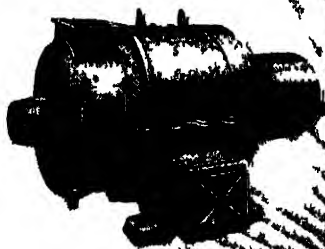
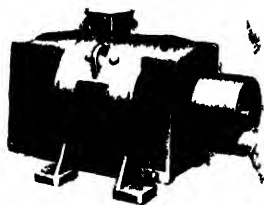
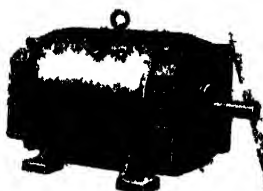


Fröhling-Michaëlis standard tensile tester
with attachment for transverse tests.



Tonindustrie G.m.b.H
Abt.: Prüfmaschinenbau Berlin NW21

A COMPREHENSIVE RANGE OF B.T.H. MOTORS



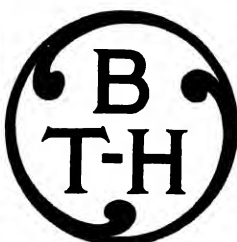
TYPICAL D.C. MOTORS
SUPPLIED
IN ALL ENCLOSURES

THERE IS A B.T.H.
MOTOR AVAILABLE
FOR EVERY POWER
PURPOSE

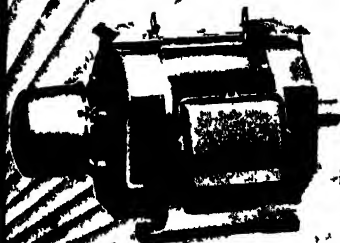
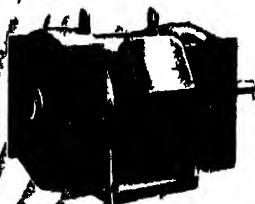
FROM 1/50 H.P.
UPWARDS

THE B.T.H.
organization is
no mushroom
growth. 30 years'
experience in the
design and manu-
facture of electric
motors and con-
trol gear, and an
enviable reputa-
tion for fair dealing
is your guarantee
of satisfaction.

WHETHER
A.C. OR D.C.
SPECIFY



▪ MOTORS ▪
BUILT TO LAST



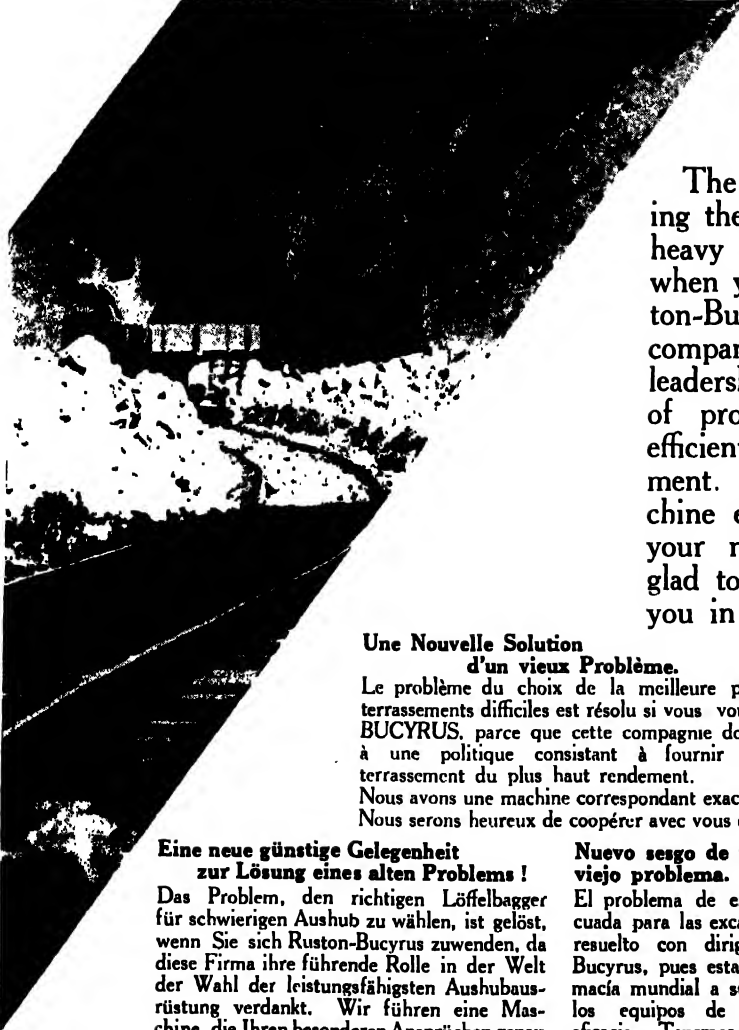
TYPICAL A.C. MOTORS
SUPPLIED
IN ALL ENCLOSURES

The British Thomson-Houston Co., Ltd.

ELECTRICAL ENGINEERS AND MANUFACTURERS

Head Office: Rugby, England. London Office: "Crown House," Aldwych.
Works: Rugby, Birmingham, Willesden, Coventry and Chesterfield.

A New Slant on an old Problem



The problem of picking the right shovel for heavy digging is solved when you turn to Ruston-Bucyrus — for this company owes its world leadership to a policy of providing the most efficient digging equipment. We have a machine exactly suited to your needs. We'll be glad to co-operate with you in its choice.

Une Nouvelle Solution d'un vieux Problème.

Le problème du choix de la meilleure pelle mécanique pour les terrassements difficiles est résolu si vous vous adressez à RUSTON BUCYRUS, parce que cette compagnie doit sa réputation mondiale à une politique consistant à fournir toujours le matériel de terrassement du plus haut rendement.

Nous avons une machine correspondant exactement à vos besoins. Nous serons heureux de coopérer avec vous dans son choix.

Eine neue günstige Gelegenheit zur Lösung eines alten Problems !

Das Problem, den richtigen Löffelbagger für schwierigen Aushub zu wählen, ist gelöst, wenn Sie sich Ruston-Bucyrus zuwenden, da diese Firma ihre führende Rolle in der Welt der Wahl der leistungsfähigsten Aushubausrüstung verdankt. Wir führen eine Maschine, die Ihren besonderen Ansprüchen genau entspricht. Wir würden uns freuen, bei der Auswahl mit Ihnen zusammenarbeiten zu können.

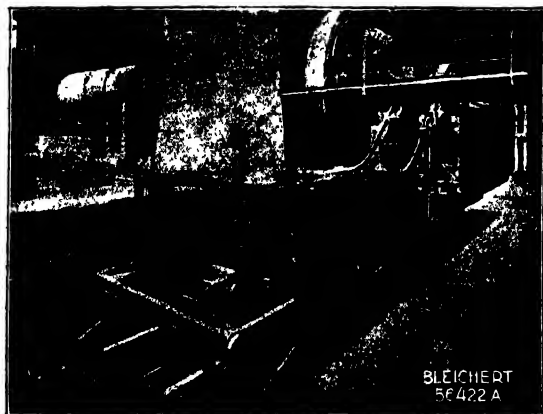
Nuevo sesgo de un viejo problema.

El problema de escoger la pala más adecuada para las excavaciones trabajosas queda resuelto con dirigirse Vd. a la Ruston-Bucyrus, pues esta Compañía debe su primacía mundial a su sistema de suministrar los equipos de excavación de máxima eficacia. Tenemos la máquina exactamente adecuada a sus necesidades. Tendremos una satisfacción en ayudarle en su elección.

**RUSTON —
BUCYRUS**

RUSTON - BUCYRUS, Ltd.
LINCOLN - ENGLAND.

BLEICHERT



baut alle Förderanlagen für die Zement-Industrie

Bleicherts construct all kinds of Transporting Machinery for the Cement Industry.

Bleichert construit tous les genres d'installations de transport pour l'industrie du ciment.

Bleichert construye todas las instalaciones de transporte para la industria de cemento.

Bleichert-Becherwerk fordert 60 t/h Klinker vom Lager nach den Drehrohröfen.

Chaine à godets Bleichert pour le transport horaire de 60 tonnes de briques du dépôt aux fourneaux à tubes giratoires.

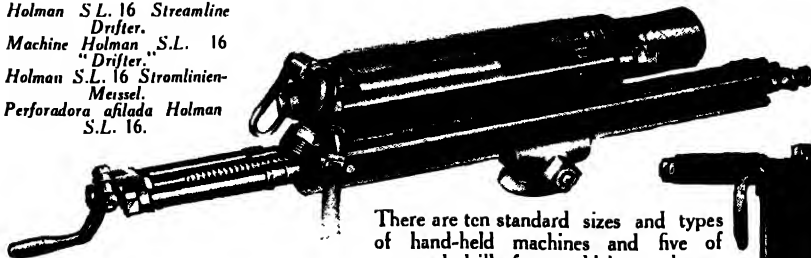
Bleichert Bucket Conveyor for the transport of 60 tons of Clinker per hour from storage ground to the Rotary Tube Furnaces. Cadena de cangilones de Bleichert transportando 60 toneladas de clinkers por hora, desde el depósito a los hornos giratorios tubulares.

ADOLF BLEICHERT & CO. A.G. LEIPZIG, GERMANY.

ROCK DRILLS

Perforatrices, Gesteinsbohrer, Perforadoras de Roca.

Holman S.L. 16 Streamline Drifter.
Machine Holman „S.L. 16“ Drifter.
Holman S.L. 16 Strömlinien-Meißel.
Perforadora afilada Holman S.L. 16.



There are ten standard sizes and types of hand-held machines and five of mounted drills from which to choose.

Il existe dix grandeurs et types standard d'appareils à main, et cinq perforatrices montées, parmi lesquelles on peut choisir.

Es stehen zehn Normalgrößen und-typen für Handbetrieb und fünf fest montierte Maschinen, unter denen gewählt werden kann, zur Verfügung.

Tenemos un surtido de diez tamaños y tipos normales de aparatos que se tienen en la mano y cinco montados, de los que se puede escoger el que más convenga al caso.

London Office:
Broad Street House,
E.C.2.

Representatives all over
the world.

BROS. LTD.
Holman
CAMBORNE, ENGLAND.



Holman S.L.
11
Handbohrer.
Perforadora
de Mano
Holman S.L.
11.

Holman S.L. 11 Handril.
Perforatrice Holman S.L. 11
"Handril."

ALITE

THE
**ALUMINOUS
SUPER-
REFRACTORY**
FOR
**BURNING
ZONES**

HARD-BURNED
"F.O."
QUALITY
FOR
INTERMEDIATE
ZONES

DENSE AND
TOUGH
"B.R."
QUALITY
FOR
COOLER
LININGS

We specialise in
refractory materials
for every purpose.

ALITE

LE
**SUPER-
RÉFRACTAIRE**
ALUMINEUX
POUR
**ZONES
DE COMBUSTION**

QUALITÉ
SURCUITE
"F.O."
POUR
ZONES
INTERMÉDIAIRES

QUALITÉ
DENSE ET DURE
"B.R."
POUR
REVÊTEMENT
DE REFROIDIS-
SEURS

Nous sommes spe-
cialisés en matériaux
réfractaires pour tous
usages.

**E. J. & J.
PEARSON**
LTD.,
STOURBRIDGE,
ENG.

ALITE

DER
**HOCHWERTIGE
TONERDEHALTIGE
FEUERFESTE
STEIN FÜR
DIE SINTERZONE**

"F.O."
HARTBRAND-
QUALITÄT
FÜR DIE
ZWISCHENZONEN

DICHTE
"B.R."
QUALITÄT
FÜR DIE
AUSKLEIDUNG
VON KÜHLERN

Unsere Spezialität
sind feuerfeste
Materialien für
sämtliche Zwecke.

ALITA

EL
**REFRACTARIO
SUPER-
ALUMINOSO**
PARA
**ZONAS DE
COCCIÓN**

CALIDAD
"F.O."
INTENSAMENTE
COCIDA
PARA
ZONAS
INTERMEDIAS

CALIDAD
"B.R."
COMPACTA Y
TENAZ
PARA
REVESTIMIENTOS
DE ENFRIADORES

Nuestra especialidad
son los materiales
refractarios para
toda clase de apli-
caciones.

**E. J. & J.
PEARSON**
LTD.,
STOURBRIDGE,
ENG.

POTENCIA PUISSANCE POWER KRAFT

Efficient, easily controlled, absolutely reliable electric power—an essential of cement manufacture—is provided by motors made by Crompton Parkinson Ltd., the "Electrical Engineers to the Cement Industry." Let us discuss cement mill drives with you.

(Below: Grinding Mill Drive by C.P. Autosynchronous Motors.)

Puissance électrique efficace, d'un contrôle facile et sur laquelle on peut compter une nécessité essentielle pour les fabricants de ciment — est fournie par moteurs fabriqués par Crompton Parkinson Ltd., les "Ingenieurs Electricistes de l'Industrie du Ciment." Permettez-nous de discuter les transmissions pour fabriques de ciment.

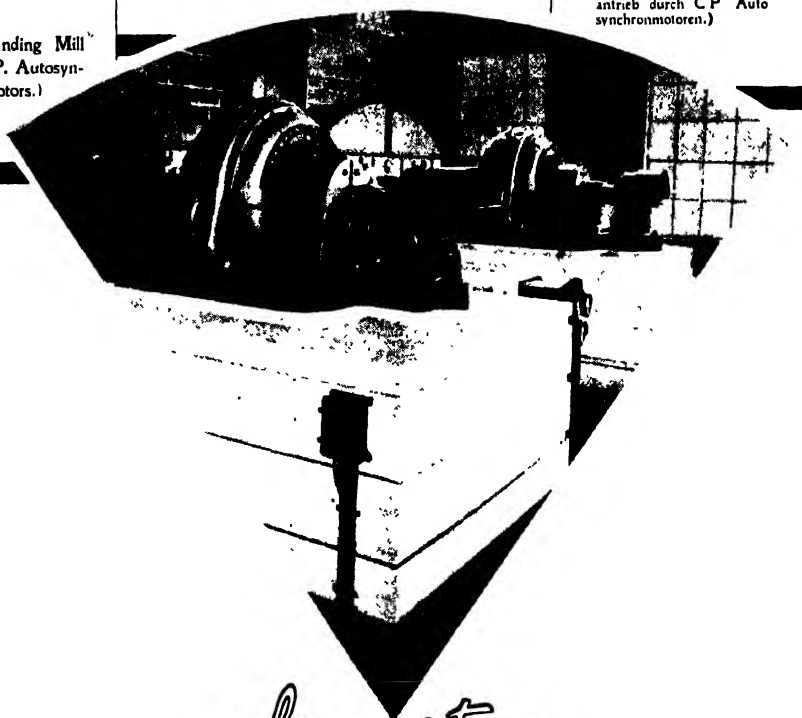
(Ci-dessous: Transmission par moteurs auto-synchrones C.P. dans une fabrique pour la pulvérisation.)

Potencia eléctrica eficaz, de fácil control, y absolutamente confiable—una necesidad esencial para los fabricantes de cemento — es provista por motores fabricados por Crompton Parkinson Ltd., "los ingenieros electricistas de la industria de cemento." Permitanos discutir con Vd. transmisiones para fabricas de cemento.

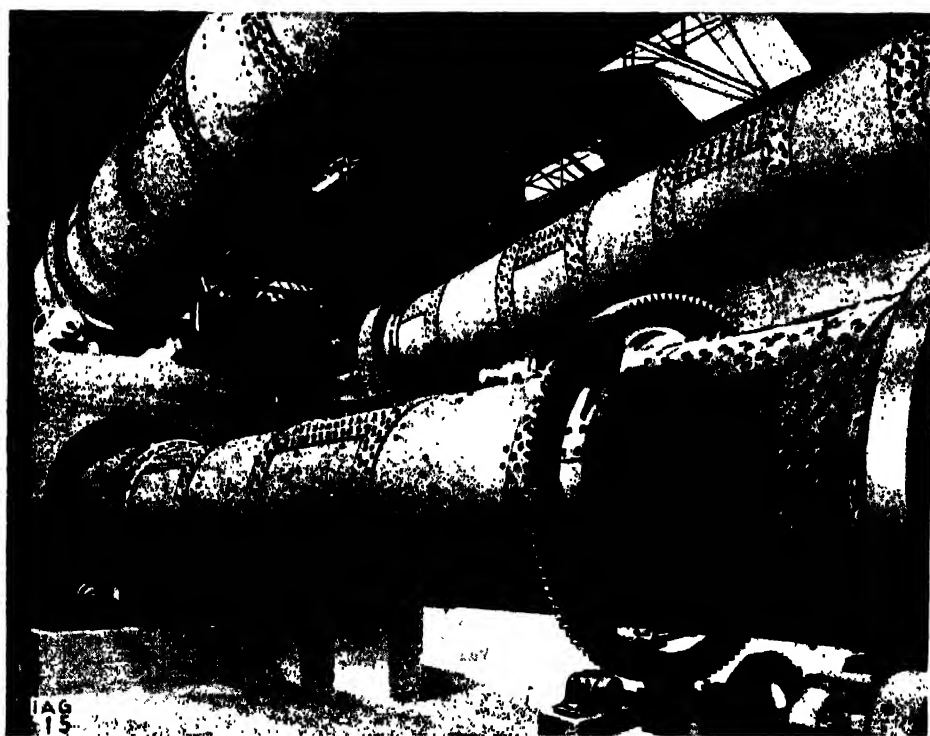
(Abajo: Transmisión por motores auto-sincronicos C.P. en una fabrica de pulverizar.)

Einen leistungsfähigen, leicht zu steuernden, völlig zuverlässigen elektrischen Kraftantrieb—ein unumgängliches Bedürfnis in der Zementfabrikation—sichern Sie sich durch Motoren der Firma Crompton Parkinson Ltd. Wir sind die "Elektrotechniker der Zementindustrie" und wir raten Ihnen gerne in allen Fragen des Zementmühlentriefs.

(Unten: Zementmühlentrrieb durch C.P. Auto-synchronmotoren.)



Crompton
GUISELEY & CHELMSFORD



MIAG

BRAUNSCHWEIG

MANUFACTURERS OF CEMENT MACHINERY

Representatives for Great Britain:—

THE SECK MACHINERY Co. Ltd.

116, VICTORIA STREET

LONDON, S.W.1.

We construct modern Portland cement works of highest technical and commercial efficiency on both the thick slurry and dry process with Rotary Kilns for cement combining the highest degree of hardness and strength, as well as automatic shaft kilns and disintegrating plants for hard materials of all kinds.

Nous construisons des fabriques modernes de ciment Portland présentant le rendement technique et commercial le plus élevé, soit suivant le procédé humide, soit suivant le procédé sec, avec des fours rotatifs à ciment combinant le plus haut degré de dureté et de résistance, ainsi que des fours verticaux, et des installations de désintégration pour matériaux durs de toute espèce.

Construimos fábricas modernas de cemento Portland, de la máxima eficiencia técnica y comercial, tanto para el sistema de pasta espesa como para el de vía seca, con hornos rotatorios productores de cemento que reune las máximas características de dureza y resistencia; asimismo construimos hornos verticales automáticos e instalaciones trituradoras para materiales duros de toda clase.

Wir bauen moderne Portland-Zement-Fabriken von höchster Wirtschaftlichkeit nach dem Dickschlamm- und Trockenverfahren mit Drehöfen für Zemente von höchsten Festigkeiten sowie automatische Schachtofen-fabriken und Hartzerkleinerungsanlagen aller Art.

Représentants :

J. Michaelis, Paris,
10, Rue de Sèze.

"Miag" Soc.An.Belge,
Bruxelles,
Place de Brouckère 5.

Representantes :

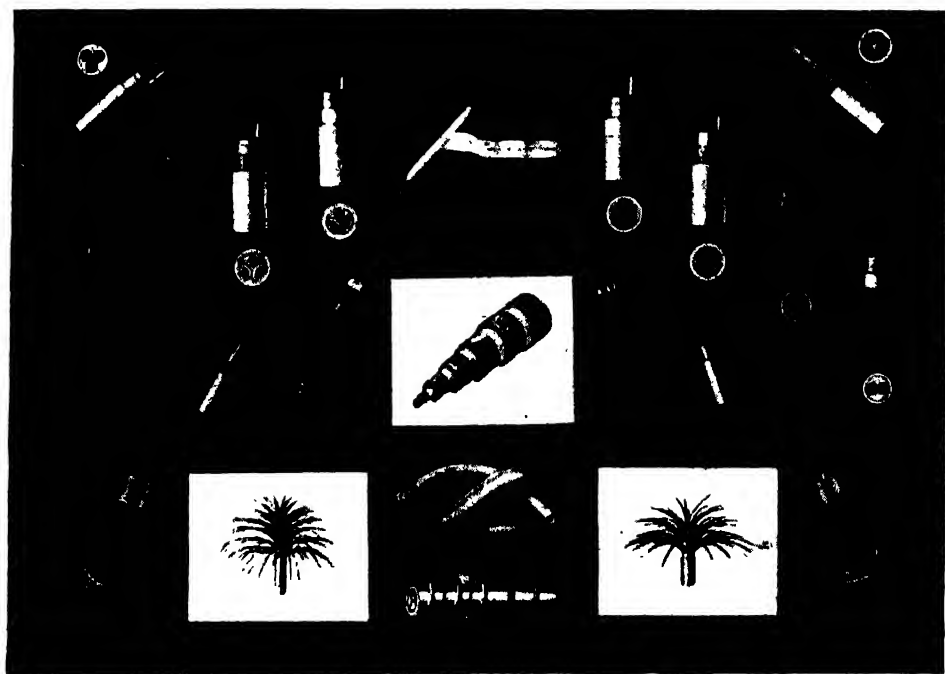
German Mende, Madrid,
Avenida Pi y Margall 9,
Piso B, Puerta 5.

Ammo, Giesecke & Kenegen, Ltda,
Buenos Aires, 25 De Mayo,
No. 252-8° Piso.

Zentrale
MIAG
BRAUNSCHWEIG

GLOVERS CABLES

OF EVERY DESCRIPTION



as used by :—

The Associated Portland Cement Manufacturers, Ltd.
The British Portland Cement Manufacturers, Ltd.
and others.

W. T. GLOVER & Co., LTD.,
TRAFFORD PARK, MANCHESTER.

Telephone : Trafford Park 2141.

Telegrams : "Cables, Manchester"

THE NEW ROSS SCREEN ASSUMES LEADERSHIP BECAUSE.

It possesses features which designers of screens and grizzlies have for years sought in vain. These features are:—

1. It is immune from Blocking.
2. It will handle Twisted Scrap Metal for 24 hours a day and screen it efficiently.
3. Its Apertures can be adjusted with laboratory precision over a widerange.

THE ROSS TWO-ROLL VIBRATING SCREEN comprises simply one free and one driven roll; it stands up to the most violent jobs; it sets a new high standard for rapid and accurate screening; it requires minimum Power and Maintenance; ITS FIRST COST IS MODERATE.

This descriptive literature
sent immediately on request →



ROSS PATENTS LTD.
2, VICTORIA ST. LONDON, S.W.1
AND ROSS SCREEN & FEEDER CO.,
247, PARK AVENUE — NEW YORK CITY.

Klöckner-Steel Balls and Steel Rolls (Cylpebs),

made of special steels with great natural hardness as, e.g., special open-hearth steel, chromium steel, chromium-molybdenum steel, silicon steel and manganese steel.



Klöckner-Boulets et cylindres en acier (Cylpebs)

fabriqués avec des aciers spéciaux de grande dureté naturelle, tels que acier Martin spécial, acier au chrome, acier au chrome-molybdène, acier au silicium et acier au manganèse.

Klöckner-Bolas de acero y cilindros de acero (Cylpebs)

hechos de aceros especiales de gran dureza natural, tales como acero de forja, acero al cromo, acero cromo-molibdeno, acero al silicio y acero al manganeso

Klöckner-Stahlkugeln und Stahlrollen (Cylpebs)

aus naturharten Spezialstählen wie Siemens - Martin - Spezialstahl, Chromstahl, Chrom-Molybdänstahl, Silizium- und Manganstahl.

Klöckner - Werke	A.-G.	Georgs-Marien-Hütte	Osnabrück
Germany	Allemagne	Alemania	Deutschland

'CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE'

VOL. IV. No. 11.

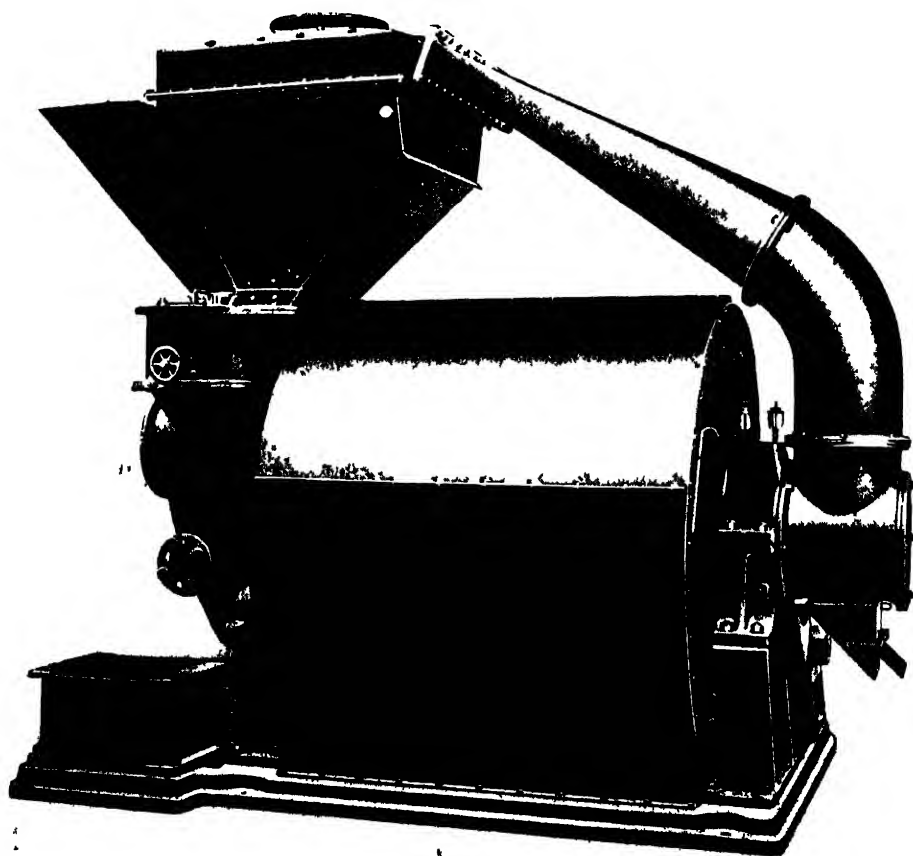
NOVEMBER, 1931.

LEADING CONTENTS

	Printed in English. Page.	Publie en Français. Page.	In Deutsch Gedruckt. Seite.	Editada en Español. Pág.
Mill Temperature and the Setting Time of Cements. By K. Koyanagi - - - -	1221	—	—	—
L'influence de la température de mouture du ciment sur son temps de prise - - -	—	1263	—	—
Die Mühlentemperatur und die Abbindezeit der Zemente - - - -	—	—	1289	—
Le temperatura de los molinos y el tiempo de fraguado de los cementos - - -	—	—	—	1313
A Comparative Study of the Portland Cement Industry in the United States of America, Canada, and the United Kingdom.—IX. By Hal Gutteridge, A.M.I.Mech.E., M.I.E.I. -	1223	—	—	—
Etude comparative de l'industrie du ciment Portland.—IX. - - - -	—	1265	—	—
Eine vergleichende Untersuchung der Portlandzementindustrie.—IX. - - - -	—	—	1291	—
Estudio comparativo de la industria del cemento Portland.—IX. - - - -	—	—	—	1315
Rational Cement Grinding. By H. Richarz -	1226	—	—	—
La mouture rationnelle du ciment - - -	—	1268	—	—
Rationelle Zementmahlung - - - -	—	—	1294	—
Molido racional del cemento - - - -	—	—	—	1318
A Modern High Output Shaft-Kiln Plant in Czechoslovakia. By F. F. Tippmann -	1231	—	—	—
Une cimenterie moderne à four vertical à grande production, en Tcheco-Slovaquie. -	—	1273	—	—
Eine moderne Hochleistungs-Schachtofenanlage in der Tschechoslovakei - - -	—	—	1299	—
Una fábrica moderna de hornos verticales de alta producción en Checoeslovaquia. -	—	—	—	1323
The Rotary-Kiln Flame and its Relation to Coal, Air, and Coal Ash. By O. Frey - - -	1241	—	—	—
La flamme du four rotatif, et le rôle du charbon, du vent, et des cendres - - -	—	1276	—	—
Die Rotierofenflamme u. ihre Wechselbeziehungen zu Kohle, Luft und Kohlenasche. -	—	—	1302	—
La llama del horno rotatorio y sus relaciones mutuas con el carbón, el aire y las cenizas. -	—	—	—	1327
Progress in Cement Research During 1930.—II. By O. F. Honus - - - -	1244	—	—	—
Les progrès relatifs au ciment, pendant l'année 1930.—II. - - - -	—	1279	—	—
Fortschrittsberichte über Zement im Jahre 1930.—II. - - - -	—	—	1305	—
Reseña de los progresos del cemento en el año 1930.—II. - - - -	—	—	—	1330
New Cement Works at Neuwied on the Rhine. By L. E. Peres - - - -	1251	—	—	—
La cimenterie de Neuwied s/Rhin - - -	—	1286	—	—
Das neue Zementwerk bei Neuwied a./Rh. -	—	—	1311	—
La fábrica de cemento de Neuwied a./Rh. -	—	—	—	1336

'BABCOCK'

PULVERISED FUEL EQUIPMENT
THE FULLER-BONNOT PULVERISER MILL
FOR DIRECT & SEMI-DIRECT FIRING
OF CEMENT KILNS



ROBUST — RELIABLE — ECONOMICAL

A slow-speed Pulveriser of absolute dependability. Gives constant fineness of grinding. For outputs from 1,500 to 10,000 lbs. coal per hour.

BABCOCK & WILCOX,

LIMITED

Babcock House, Farringdon St., London, E C 4
Telephone : CITY 6470.

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

THE INTERNATIONAL FOUR-LANGUAGE CEMENT JOURNAL

MANAGING EDITOR: H. L. CHILDE. CONSULTING TECHNICAL EDITOR: S. G. S. PANISSET.

ENGLISH SECTION

PARTIE FRANÇAISE

PAGE 1263

DEUTSCHER TEIL

SEITE 1289

SECCIÓN ESPAÑOLA

PAG 1313

Mill Temperature and the Setting Time of Cements.

By K. KOYANAGI (Tokyo, Japan).

In an article entitled "Mill Temperature and the Setting Time of Cements," which appeared in the April, 1931, number of this journal, V. M. Anžlovár expressed his views in regard to the quick setting of cement by high mill temperature. He said "Since anhydrite is more difficult to dissolve in water than the hydrates of CaSO_4 , it produces the necessary concentrations of Ca and SO_4 ions too slowly to delay the hydrolysis; initial set accordingly takes place more rapidly, and the result is quick-setting cement. It can scarcely be doubted, however, that anhydrite is formed as a result of the temperature attained in the mill."

Mr. Anžlovár seems to mix the estrich gypsum (less soluble anhydrite) and soluble anhydrite together. When gypsum di-hydrate is heated at the temperature 150 deg. C. to 200 deg. C. it is changed partly or wholly into soluble anhydrite, which is by far more soluble than the di-hydrate. This can be seen in following experiments on the solubility of various forms of gypsum carried out by the writer.

The samples of which solubility was measured are as follows :

FORM OF GYPSUM.	SO ₃ CONTENT IN PER CENT.	
	Measured.	Calculated.
(1) Di-hydrate	45.66	----
(2) Hemi-hydrate (di-hydrate heated at 130 deg. C. for 30 minutes)	53.72	53.98
(3) Soluble anhydrite (di-hydrate heated at 200 deg. C. for 30 minutes)	57.09	57.52
4) Less soluble anhydrite (di-hydrate heated at 1,100 deg. C. for 2 hours)	57.63	57.52

Five grams of these substances were shaken with 300 cc. of water for 15, 30, and 60 minutes, and filtered quickly. Fifty cc. of the clear filtrate were taken, and analysed on SO₃, which was calculated into CaSO₄. Fig. 1 shows the solubility curves of the substances.

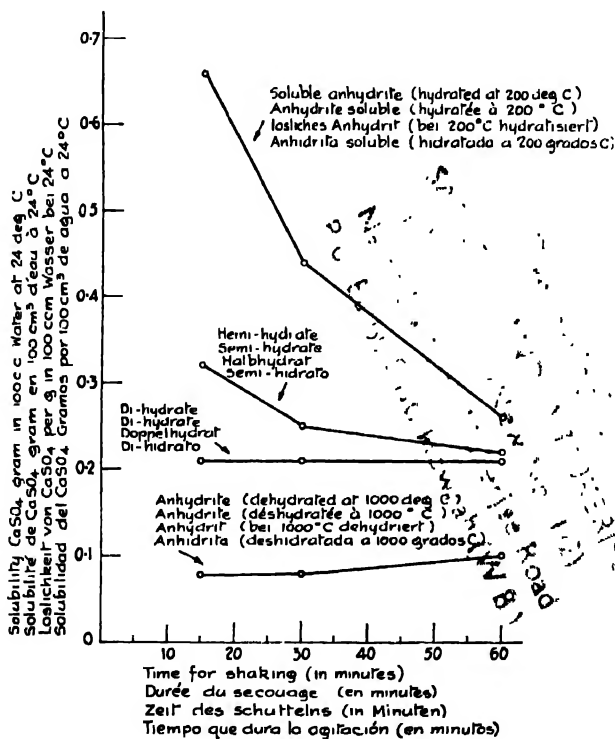


Fig. 1.

There is no doubt that the gypsum in the cement is changed partly into soluble anhydrite which is, as shown in Fig. 1, far more soluble than the di-hydrate as a result of high mill temperature. This fact contradicts the views of Mr. Anžlovar.

Mr. Anžlovar discusses also the writer's article on the same subject published in "Zement" (No. 20, 1930), where he says:

(1) The writer asserted that the best quantity of gypsum to use for all cements corresponds to 0.9 to 1.2 per cent. SO₃.

(2) He has made an observation which directly contradicts this assertion, as he has frequently found, both on the works and in the laboratory, that while

cements ground with this quantity of gypsum are undoubtedly of normal setting-time when freshly ground, after some two months they have without exception become quick-setting.

The writer's answers to these points are as follows :

(1) The writer clearly stated in the article referred to that for every cement with its particular chemical composition there is a definite quantity of gypsum to be added with which the setting time is longest. The writer gave also the analysis of his cement, which is high in silica and lime and low in alumina.

(2) It is well known that certain cements which have a normal setting-time when freshly ground have a flash-set after storage or ageing for a few weeks. Although there have been many researches on this phenomenon the true origin of it has not yet been discovered. In Germany this kind of cement is called " Umschlaeger " ; the cement referred to by Mr. Anzlovar might perhaps belong to this class of cement.

A Comparative Study of the Portland Cement Industry in the United States of America, Canada, and the United Kingdom.—IX.

By HAL GUTTERIDGE, A.M.I.Mech.E., M.I.E.I.

(Conclusion.)

In this article a summary is given of the principal points detailed in the preceding articles on the latest practice in Portland cement manufacture in the United States of America, Canada, and the United Kingdom.

Raw Materials.—In the United States of America and Canada, where the raw materials are mostly hard, it is necessary to blast the rock, while in the United Kingdom, where the raw materials are mostly soft, blasting is not frequently required as the materials can be won with mechanical diggers.

For the reduction of hard materials the modern method is to place the primary crusher above the secondary crusher, the screens for by-passing the material already sufficiently fine around the secondary crusher being placed between the crushers. By this means gravity flow is obtained with consequent low operating costs. This arrangement requires a more substantial structure than the alternative arrangement of having the units on the same level, but the additional initial cost is more than set off by decreased operating costs. The advantages of introducing a separator between the crushers are the saving of power absorbed by, and the reduction in size of, the secondary crusher because of the reduced amount of material to be crushed, and the alteration from an intermittent to a regular feed.

With the soft raw materials in the United Kingdom crushing is usually unnecessary, for these materials can be reduced to the fineness required by treatment in a washmill. Where flints are present these are removed at intervals through a door flush with the bottom of the washmill, while the oversize particles which have passed through the washmill screen are separated out by centrifugals and returned to the washmill for further reduction.

Therefore, except in a few instances, the methods used for the reduction of materials in the U.S.A. and Canada are not applicable to the United Kingdom.

and vice versa, on account of the differing physical properties of the raw materials.

Wet versus Dry Process.—Up to within recent years most of the cement made in the U.S.A. was produced by the dry process, which was adopted in the early days because it was suited to the "cement rock" from which practically all the cement was then made. With the extension of the cement trade the dry process was applied to other raw materials, but its importance has gradually decreased in favour of the wet process which at present is adopted in most plants. The dry process could not with advantage be applied in the United Kingdom because of the unsuitability of the raw materials, for chalks, marls, and clays contain such a comparatively high proportion of water that from this point of view alone the cost of drying would be too high and the dry process consequently uneconomical.

On the other hand, the wet process can be applied to all materials whether hard or soft as the water content is of no consequence. The main reason for its increasing adoption is that it permits greater control over variations in the composition of the raw materials; in other words, the wet process offers final mixing conditions superior to those obtaining with the dry process. This advantage is of the utmost importance and readily outweighs the slight but definite advantage of the dry process in reduced fuel consumption with dry materials.

The Kiln.—Generally speaking the trend of development of the rotary kiln in the U.S.A. has been to keep the length of the kiln short and to maintain the temperature of the waste gases at a maximum, or artificially to increase it, so that it will be suitable for use with waste-heat boilers. In Canada and the United Kingdom the development has been towards the longer kiln so that the useful heat in the kiln gases will be given up to the incoming raw material, the remaining low-grade heat being allowed to go to waste. The choice is one of economy. Where fuel is cheap and purchased current expensive, together with short kilns operating on the dry process, the most suitable conditions obtain for waste-heat boilers. As there are no dry process plants in the United Kingdom one of the advantageous conditions is absent, and as the price of current is not excessive the development has been toward the long kiln where the quantity of heat in the escaping gases is so reduced that it is uneconomical to collect it for any useful purpose. The maximum length of the kiln with waste-heat boilers is usually about 175 ft., while the length of the kiln in the United Kingdom and Canada is usually between 250 and 400 ft.

A method which can be seen in use in the U.S.A. on wet process plants for increasing the efficiency of the kiln employs a filter which extracts about half the water in the slurry previous to its entry into the kiln. By this means the wet process kiln is relieved of the duty of evaporating the water extracted and its efficiency is thereby improved. With the soft raw materials on wet process in the United Kingdom there would appear to be no reason why the filter should not be equally successful, especially where the quarries are some distance from the plant and the percentage of water in the slurry has to be increased for pumping reasons.

Another method of increasing the thermal efficiency of the kiln is by the "spray" feed system. In this system the maximum surface of the slurry is exposed to the kiln gases and thereby the greatest rate of heat exchange from the gases to the slurry is obtained. This is reflected in the low temperature of the waste gases, which in one of the plants in the United Kingdom is of the order of 200 deg. C.

In the pulverisation of coal for firing the kiln the system most favoured in the U.S.A. is the "central" system, while in the United Kingdom the "unit" system is in general use. With the latter the whole of the reduction of the coal is performed in one machine on the firing platform; no coal is stored in the pulverised state, as the kiln takes it direct from the machine. The power consumed is less and the space required is only a small portion of that required by the central system. The unit system is more responsive to fine and quick adjustments of feed, and this alone should recommend it for wider use in the U.S.A.

The most important mechanical improvement in regard to the kiln is the introduction of the "combined kiln and cooler" first installed in the United Kingdom in 1922. The integral unit has been adopted by all the countries under consideration because of its obvious advantages over the separate kiln and cooler. Of lesser importance is the introduction in the U.S.A. of roller bearings for the kiln in place of the usual plain bearings. This permits of a smaller driving motor which can also be of a less expensive type because it is not called upon to overcome a high torque due to static friction in starting the kiln.

Grinding.—The most important recent advance in grinding is in the introduction of "closed circuit" grinding to the cement industry. In "open circuit" grinding the whole of the material, whatever its degree of fineness, is passed through every consecutive stage at a feeding speed governed solely by the time it takes to reduce the largest particles to the maximum final size required. The result is that much material is unnecessarily ground to a greater degree of fineness than is required, and the presence of the ultra-fine material gives rise to "cushioning" which reduces the efficiency of the grinding media, absorbs unnecessary power, and limits the rate of feed. With "closed circuit" grinding all material below a predetermined degree of fineness is withdrawn from the process at one or more points, so that "cushioning" is eliminated and the production of unnecessary ultra-fine particles is avoided. The result is a reduction of power required for the same quantity ground, or an increased output for the same expenditure of power.

Up to the present closed-circuit grinding on both wet and dry processes has been applied mostly in the U.S.A. to raw material reduction, and for this purpose it has in the United Kingdom a very restricted field because the majority of the raw materials, being soft, do not require grinding.

Previous articles in this series appeared in the issues of November, 1930, January, February, April, May, July, September, and October, 1931.

New Swedish Plant.

The new Hellekis works of the Skanska Cement A.B. was recently put into operation. The capacity of the new works is about 500,000 barrels per annum. In designing the plant an endeavour has been made to use as far as possible only one unit for each operation, and for this reason individual machines are of large size. Thus there is only one cement grinding mill, and only one mill for crushing and grinding limestone, of which about 500 tons are used each day. The rotary kiln is about 94 m. long, and is the largest in Sweden. The plant has a department for producing pulverised coal for the kiln. It is understood that the new plant cost about Kr. 3,500,000.

Rational Cement Grinding.

By H. RICHARZ.

It is the object of all cement works to install their cement grinding mills to grind the maximum quantity of cement to the utmost possible fineness with the minimum expenditure of power. Well-burnt clinker is the most difficult to grind of all materials occurring in the manufacture of cement, and it is for this reason that rational cement grinding is of such great economic importance. The author here discusses his experience of cement grinding, which applies also to a greater or less extent to the comminution of all other materials in the tube-mill. Tube-mill grinding without air separation is alone considered.

Mill dimensions are best chosen as a result of the experience of the plant manufacturers, who are able to give a definite guarantee of output. The most interesting question from our present point of view is how to obtain and maintain the maximum possible output from a given mill under working conditions. We will therefore discuss the conditions which are essential for attaining maximum output, and refer to ideas which lead to error in installing mills.

In bringing a mill into commission it is first charged with grinding media. In the case of a three-compartment mill, for example, the first compartment is charged with a mixture of balls of $3\frac{1}{2}$ to 2 in. diameter, the second compartment with balls $1\frac{1}{2}$ to $1\frac{1}{8}$ in. diameter, and the third with either flints or small steel grinding media, or with a mixture of both. The selection of grinding media for the third compartment depends on the power available. This point is dealt with later. The size of the grinding media for the first compartment is governed by the degree of preliminary crushing of the clinker. To this question, also, special attention is devoted later.

The relative outputs of the separate compartments are obtained by sieve analyses. Samples are taken at the beginning of the second or third compartments and at the end of the latter, and the residues on the 180 and 78 (per inch) sieves are determined. The efficiency of each compartment is thus obtained and as a result of these sieve determinations and of knowledge gained during the tests the mill can be adjusted to give the maximum output from each individual compartment. The sieve analyses must not be too implicitly relied on, and the greatest care must be placed upon their interpretation since the method is somewhat crude. In many cases its limitations are not realised, and errors are accordingly made which endanger the success of the installation. Table I gives a number of sieve analyses obtained in a three-compartment mill with a screen between the first two compartments. The results refer to two separate periods during which conditions were constant. Columns (1) and (2) show the mill output and the overall sieve residue for the period at the end of which the sieve analyses were made. Columns (3), (4) and (5) give the residues on the 180 sieve of samples taken at the beginning of the second and third compartments and at the end of the third compartment. Columns (6), (7) and (8) give the relative outputs of the individual compartments referred to 100. These quantities are calculated according to the following formulæ (the residues of the first sieve analysis are taken as an example):

Compartment (1)	.....	$\frac{(100 - 51)100}{100 - 13.8}$	= 56.8
„	(2)	$\frac{(51 - 32.4)100}{100 - 13.8}$	= 21.6
„	(3)	$\frac{(32.4 - 13.8)100}{100 - 13.8}$	= 21.6

TABLE 1.

Output lb. per H. P.-hour.	Residue on 180 sieve.	Sieve analyses.			Relative output of compartment.		
		Entry (2).	Entry (3).	End (3).	(1).	(2).	(3).
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
54.1	11.7	51.0	32.4	13.8	56.8	21.6	21.6
55.4	12.4	64.0	40.5	13.7	41.5	27.1	31.4
57.0	12.7	57.4	39.0	13.4	49.2	21.2	29.6
57.6	10.6	54.4	40.4	12.0	51.8	15.9	32.3
61.6	12.0	61.0	43.0	18.0	47.6	21.9	30.5
57.9	11.8	70.0	47.0	17.0	36.1	27.7	36.2
57.2	10.0	57.4	41.5	14.0	49.5	18.5	32.0
58.1	11.5	56.0	29.6	5.2	46.4	27.8	25.8
59.6	13.3	53.6	37.0	12.8	53.2	19.0	27.8

It is evident from Table 1, particularly from the values of relative output of the separate compartments, that sieve analyses afford widely varying results. The results of a single sieve analysis must therefore never be used as the basis of changes in practice: the average of a number of sieve analyses must always be used. It must also be pointed out that if the sieve analyses are to be reliable the mill must be stopped at the same moment as the feed is stopped.

The fineness of the material at the exit end of the mill is not always the same at the instants when the samples for the sieve analyses are taken. There will obviously also be variations in the fineness of the samples obtained from the individual compartments, so that a comparison of the various sieve analyses offers difficulty. It is therefore recommended that in all cases the results of the sieve analyses should be calculated in the manner explained. By this means comparable values will be obtained for the relative outputs of the separate compartments.

In addition to the erroneous evaluation of sieve analyses, errors are also introduced by different series of measurements which conflict with one another. New series of measurements are frequently made almost daily during the installation of a mill, and it is not possible when working rapidly to get a reliable picture of the behaviour of the mill at any moment. Later measurements discover the error of the earlier conclusions. It is evident that if we use a crude method of investigation a large body of individual data must be obtained before reliable deductions can be drawn.

In considering the mill output it is not sufficient merely to establish the values of the hourly output. The work carried out by a mill is intimately related to the power consumption. Erroneous assumptions regarding this relationship are not infrequent. Thus, if at the beginning of the test the motor is not running at full load, the output per hour can be raised by increasing the mill charge. Naturally the power consumption of the mill is also increased at the same time. Since the object of mill measurements is more often to attain a relatively higher output than to increase the mill output to correspond to an increased power consumption, we must have a clear conception of the hourly output in pounds per h.p. Only this quantity gives a criterion that cannot be criticised, and the method of calculating it is as follows:

Let d = three-phase alternating current factor = 1.732.

$c = \cos \phi$ (taken as 0.89).

m = efficiency of motor (taken as 92 per cent.).

g = efficiency of drive (taken as 98 per cent.).

f = factor for conversion of kilowatts to h.p. = 1.36.

V = volts, and A = amperes.

Then the h.p. applied to the mill shaft = $dcmgf \text{ VA}/1,000$
 $= 1.732 \times 0.89 \times 0.92 \times 0.98 \times 1.36 \text{ VA}/1,000$

And the output per hour in pounds per h.p. = $\frac{\text{output per hour.}}{\text{h.p. applied to the mill shaft.}}$

It is recommended that the value of the voltage inserted in the formula be that obtained by averaging occasional readings of the voltmeter, since the nominal supply voltage is not always obtainable from the wiring. If the hourly output is so calculated in pounds per h.p. it will frequently be found that, contrary to expectation, there is no true improvement, since the output has only increased proportionally to the increase in power consumption.

Let us follow these general points by considering the mill charge. The cement mill is almost always fed with well-crushed material, and the ball charge of the mill must be adapted to the fineness of the feed. The first compartment must not contain too high a proportion of large balls; one-third to a quarter of the charge must consist of large steel balls of about $3\frac{1}{4}$ in. diameter to provide the necessary direct impacts. Since, however, a considerable part of the fine grinding must be carried out in this compartment, the rest of the ball charge should generally diminish uniformly to a minimum diameter of $1\frac{1}{2}$ to 2 ins. The ball charge for the first filling must be suitably graded. Later, it will only be necessary to add large balls of $3\frac{1}{4}$ to $3\frac{1}{2}$ in. diameter, since the wear of these will ensure the provision of smaller sizes. As time goes on care must be taken that an undue proportion of very small balls does not accumulate, since these are no longer able to take part efficiently in the comminution of the coarse material. Indeed they are a definite hindrance and cause waste of power, and they must be withdrawn from the mill. It is obvious that the balls in the succeeding compartments must be progressively smaller in order to deal efficiently with the finer material. The previous remarks again apply in this case. The grinding media should be allowed to wear down to a certain size, but when the mill output falls off seriously it must be ascertained whether too much ballast has accumulated, and if necessary some must be removed. Wear of the grinding media frequently leads to considerable advantage, in that it results in quite appreciably increased output.

The author has often found that the hourly output expressed in pounds per h.p. has increased without any alteration in conditions. This can only be due to the circumstance that the grinding media are worn into such shapes that a much better grinding effect is obtained than with the original round balls. It is further frequently found that the power requirement of a mill rises after the introduction of new grinding media, while the output remains stationary or even decreases. Only after some time do the added grinding media result in an increase in the output. This phenomenon also shows that the output is raised when the newly-added media have adapted themselves to those already present.

The question whether the fine-grinding compartment should be charged with flints, or with steel in the form of cubes, balls, or cylpebs, must be answered according to the size of the mill and the power available. It is a fundamental requirement that the mill must be filled to a definite height for rational working. Since a given weight of flints will, owing to the lower specific gravity, occupy a greater volume than the same weight of steel balls, flints are often used in the fine compartment when the power available is insufficient for a charge of steel balls of the required height. Further, the average height to which a charge of flints is raised in the mill is less than that of a charge of steel media of the

same weight, with the result that a ton of flints requires less power than a ton of steel. Therefore, with a given available horse-power, a greater weight of flint can be handled than steel. And vice versa, if it is desired to replace flints by steel grinding media, a lower weight of steel must be taken, or the mill-driving motor will be overloaded. In addition, the lower height to which the steel charge fills the mill causes a considerable reduction of output. The exclusive use of steel media in the fine grinding compartment can only be permitted when the motor is sufficiently powerful to allow a charge of the required height in the mill to be used. Even then the construction of the mill and the strength of the foundation must obviously be taken into consideration.

It can readily be conceived that the use of a charge consisting solely of steel grinding media might result in a very intensive fine grinding, so that a good output might be obtained even in grinding high-strength cements. Between the two extremes of low and high available power, suitable quantities of steel media are frequently added to a mill charge of flints. According to the author's experience, however, it seems somewhat doubtful whether this always results in improved output.

It is not sufficient to aim solely at correctly charging the individual mill compartments. It is also necessary to devote attention to the passage of the material through the partitions and the discharge plate. This transference from compartment to compartment regulates whether the several compartments are grinding at full capacity or whether any compartment is not doing sufficient work and is thus inadequately used and exerts an unfavourable influence on the overall output of the mill. It does not necessarily follow that all the slits in the partitions must always remain unconditionally open. This is particularly the case for mills in which the slits extend to the outer edge of the partitions and discharge plate. In such mills a number of the openings can frequently be permanently closed with great advantage by rivetting plates over them, particularly when the driving motor is not capable of supplying sufficient power to give the maximum output possible with the mill. A criterion for the correct utilisation of the grinding capacity of the individual compartments is the height of the material above the ball charge. The height of the material should be at least equal to that of the grinding media, and may with advantage be a few centimetres higher. It should never be possible to see only the naked grinding media. In such cases either the ball charge must be increased, or, if the mill is already running on maximum power, the exit from the compartment must be throttled. This naturally applies also to the end compartment, which is frequently throttled by fixing sheet metal over the outermost discharge slots. This is the only possible way, in the case of a discharge-plate perforated with slots all over its cross-section, of checking the output and so completely utilising the grinding capacity of the fine compartment. With unimpeded flow the ground material may easily be too coarse, so that it is necessary to slow down the discharge; this, of course, has a serious effect on the output.

In the case of mills with screens between the first and second compartments it is not desirable to diminish the area of the screen with the object of increasing the load on the first compartment. This is better and more rapidly attained by reducing the total area of the apertures in the partition.

There is yet another factor of great importance for the attainment of maximum efficiency, viz., the maintenance of a good current of air through the mill. The dust-extracting plant attached to the end of the mill should be provided with a large fan capable of drawing a continuous strong current of air through the mill. To this end the inlet of the mill and the central openings of the

separating partitions must have a correspondingly large cross-section. The diameter of the latter should be about 8 ins. The rapid stream of air takes up all the water vapour formed in the mill, and also draws a considerable portion of the finest particles as a cement-air emulsion into the filter. As a result of this the mill charge can work in the dry atmosphere at its greatest capacity. It is astonishing how great is the advantage gained by ensuring that a good current of air sweeps through the mill.

If the above points are attended to any mill can easily be adjusted to work at maximum capacity.

Proposed German Standard Specification for Aluminous Cement.

THE draft standard specification for aluminous cement now under consideration by the German Standards Commission is closely based on the recent Specification for Portland Cement (see CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, Vol. 3, Dec., 1930, p. 1581). The following notes indicate the variations from the latter specification, and it may be assumed that tests not mentioned below are identical for Portland and aluminous cements.

Aluminous cement is defined as a hydraulic material obtained by clinkering or melting minerals consisting mainly of lime, alumina and iron oxide. If the clinkering process is used the raw materials must be finely ground and thoroughly mixed and must be burnt for a long period. The product must be finely ground. Insoluble matter must not exceed 2 per cent., and SiO_2 must not exceed 8 per cent. Carbides, sulphides or phosphides decomposed by water must not be present. Not more than 1 per cent. foreign materials may be added to standard aluminous cement after burning. Aluminous cement is naturally slow-setting, and not more than 10 per cent. of substances for accelerating the set may be added.

The preliminary tests include the boiling test, as for Portland cement. The pats stored in saturated moist air must be covered with wet cloths to prevent loss of moisture. This precaution must be taken in all tests in which test-pieces are stored in a moist closet. After boiling, a thin layer can generally be rubbed from the pats unless it has already scaled off. This is typical of aluminous cements and is not injurious.

A maximum residue of 15 per cent. is allowed on the 180 sieve. The residue on the 76 sieve is 2 per cent., as for Portland cement. Setting usually takes place in six to eight hours. In making the test, materials, air and apparatus must be maintained at 15-20 deg. C.

A 1 : 3 mortar of normal aluminous cement must give the following strengths :

Storage.	Crushing. (lb. per sq. in.)	Tensile.
1 day moist closet.	5,690	355
28 days' water storage	7,110	425
28 days' combined storage (1 moist air, 6 water, 21 air) . .	8,530	570

The strength of quick-setting aluminous cement is usually less than these values. The authoritative figures are the crushing strengths at 1 and 28 days. The 1-day crushing strength is the most valuable criterion, especially for initial hardening. This must be amplified by the crushing strength after 28 days' water storage for hydraulic work and after 28 days' combined storage for structural work.

A Modern High Output Shaft-Kiln Plant in Czechoslovakia.

By F. F. TIPPMANN.

THE Andreas Company of Münster, Westphalia,* has produced a high-output shaft kiln which is claimed to give a product equal in quality to a high-strength rotary kiln cement and which overcomes the adherence of material to the lining. Further, with very low fuel consumption the kiln gives a daily output of 120 to 150 tons. The kiln is a completely automatic burning apparatus. Messrs. Andreas Maschinenbau, G.m.b.H., have in the past two years erected over 70 of these shaft kilns in all parts of Europe, while many rotary kiln works have adopted a combination of rotary kiln and shaft kiln, with the object of meeting

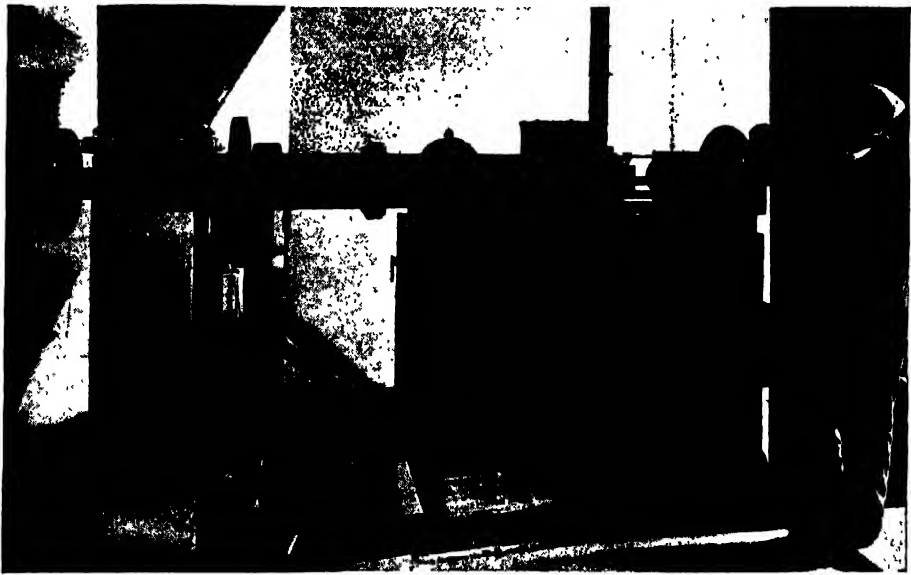


Fig. 1.

efficiently all fluctuations in demand. Small cement works consisting of a single high-efficiency shaft kiln with an average daily output of about 120 tons prove particularly profitable when wisely located so as to dispose readily of their entire production throughout the year.

In the Andreas high-efficiency shaft kiln, adherence of the material to the lining, experienced with the older forms of shaft kiln working with briquetted raw materials, is prevented by feeding the moistened raw meal-fuel mixture to the kiln without briquetting or moulding. This results in a simplification, in that the usual briquetting plant is no longer necessary. A high output of clinker of high quality was attained by applying the old rotary kiln burning formula "rapid burning and rapid cooling" to the shaft kiln. Arranged

* This firm has now amalgamated as regards its cement-making machinery with Krupp-Grusonwerk A.-G., Magdeburg-Buckau.



Fig. 2.

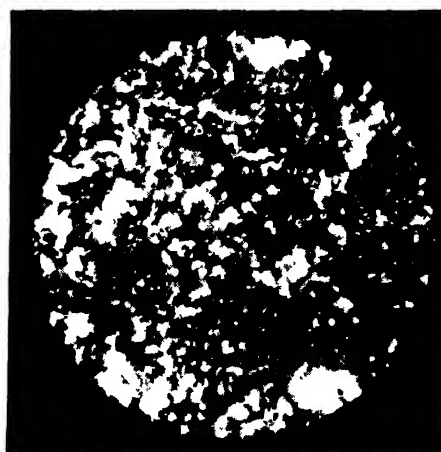
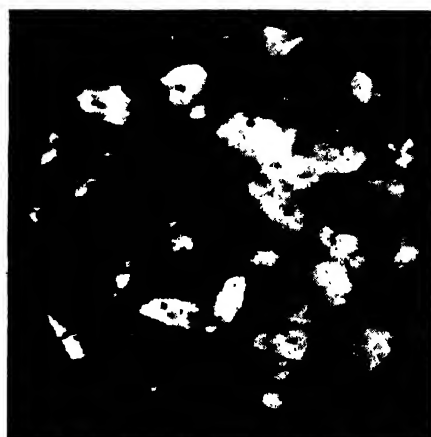


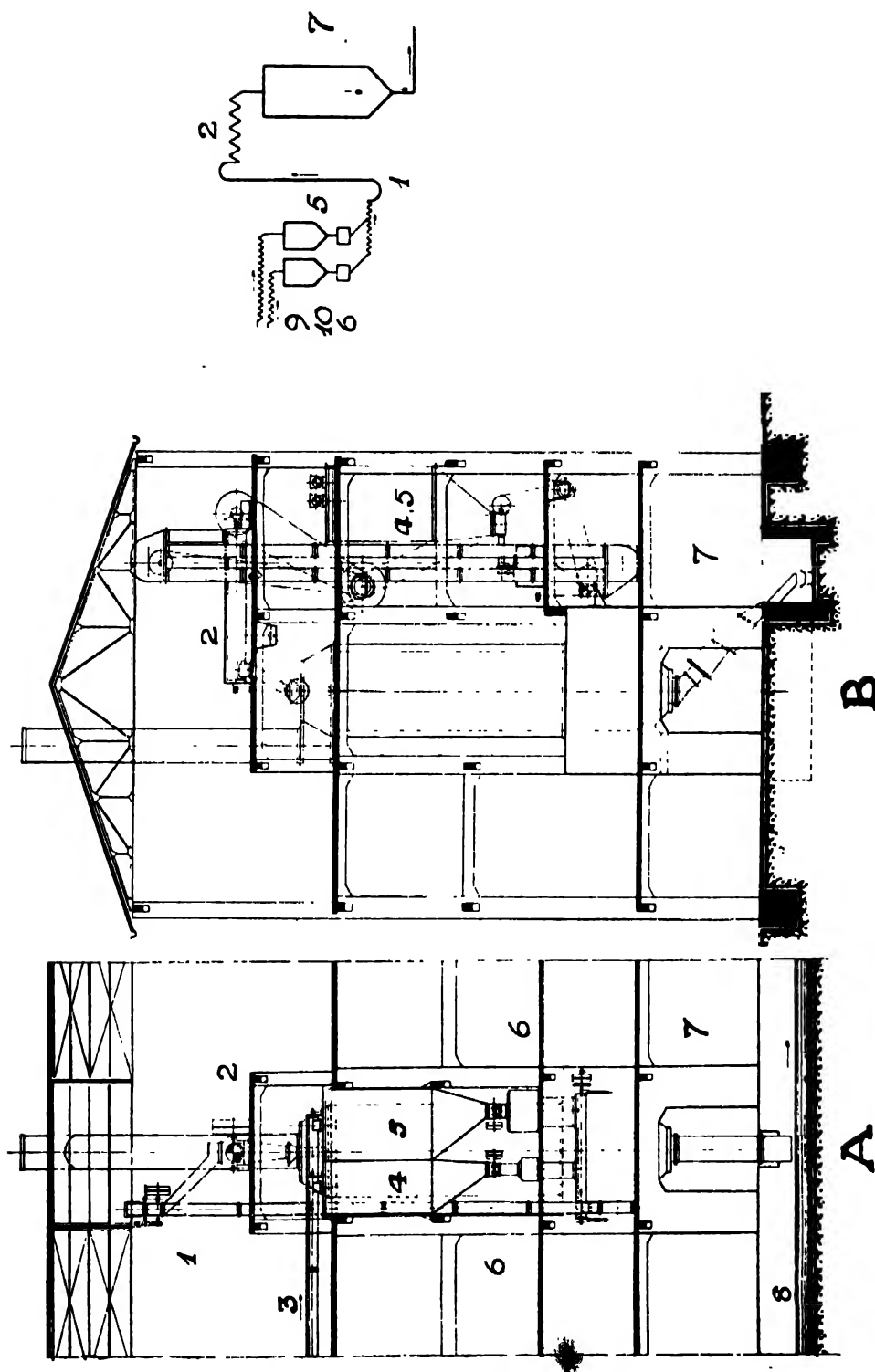
Fig. 3.



a

Fig. 4.

b



B
Fig. 5.

A

round the kiln shaft, at definite heights, are so-called secondary ring air-inlets, which introduce the air for combustion or cooling at points where for practical purposes it has the greatest efficiency.

The narrow clinkering zone of the kiln ensures rapid burning, and the introduction of secondary air below the clinkering zone gives immediate rapid cooling. The passage of the column of material through the kiln is also very rapid, corresponding to the high output.

This burning process has considerable effect on the mineralogical structure of the clinker, which is so similar to that of a rotary clinker that the two can scarcely be distinguished. Fig. 2 is a comparison of the appearance of the

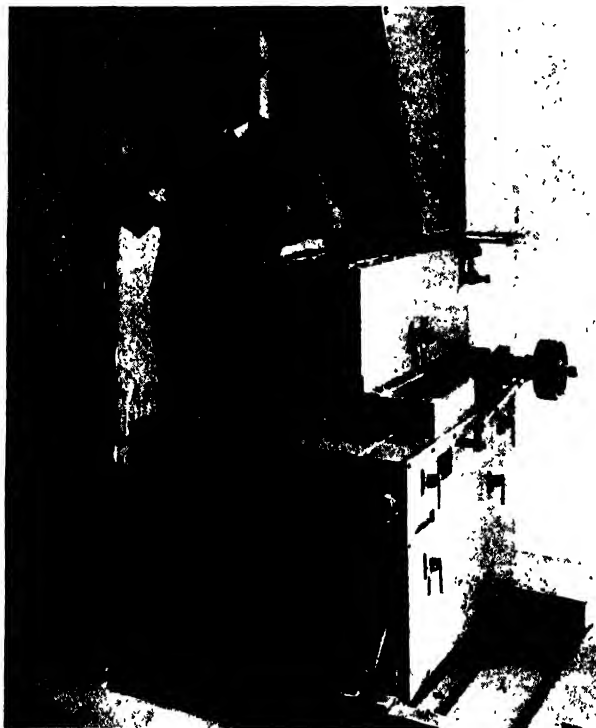


Fig. 6.

Andreas clinker (left) and clinker obtained from the older form of shaft kiln employing briquetting (right). These two clinkers were produced on the same works from the same raw meal. The spongy and porous structure, darker colour, and more intensive burning of the clinker forms a striking contrast to the lighter-coloured, slowly cooled, more compact clinker, which is more difficult to grind, produced by the older kiln.

The effect of the rapid burning and cooling on the properties of the clinker is shown by the microstructure. Figs. 3a, 3b, 4a, and 4b show thin sections of the clinkers of Fig. 2 at a magnification of 440, between parallel and crossed Nicols. These photomicrographs definitely show the more homogeneous and finely-grained structure of the clinker minerals in the modern clinker, and its greater richness in hydraulic active constituents, as compared with the slowly-cooled clinker obtained from the older type of shaft kiln. The microstructure

of the clinker is closely allied to that of a rotary clinker, to which the similarity in properties of the two is probably to be attributed. When it is considered that in Switzerland to-day an Andreas shaft kiln is producing a Portland cement which is not inferior to the well-known Swiss rotary cements the great importance of this kiln must be admitted.

The high quality and strength, and the uniformity of the product of this kiln, are also due to the fact that a uniform and homogeneous raw-meal-fuel mixture is fed to the kiln. This result is attained by using a specially constructed, automatic, electrically-coupled weighing machine. The general lay-out and working diagram of the Andreas shaft kiln are given in Fig. 5. The key to Fig. 5 is as follows: (A) Elevation; (B) Section; (C) Working diagram;



Fig. 7.

(1) elevator; (2) mixing screw; (3) feeding screws; (4) coal silo; (5) raw-meal silo; (6) automatic weigher; (7) shaft kiln; (8) conveyor; (9) coke screw; (10) coke silo.

The author recently saw an Andreas high-output shaft kiln plant in operation in Czechoslovakia, which will be briefly described. The construction was undertaken on behalf of one of the oldest cement works on the Continent, the Kurowitz Portland and Roman Cement Works of Count Seilern and Co., of Tlumatschau (Mähren, Czechoslovakia). The homogenised raw meal and the fuel are filled into two sheet metal containers, each of about 10 cu. yds. capacity, placed side by side. As fuel, small coke is used, of about 0.2 in. grain size, 15 to 18 per cent. ash content, and 10,500 to 10,800 B.Th.U. per lb. calorific value: this fuel is employed as delivered, without preliminary drying or other preparation.

Under the containers are the coupled weighing machines for the raw meal and fuel, which are charged by means of distributing apparatus operated by the weighing machines. The weighers work with great precision and can be adjusted for different weights; they are provided with automatic counters. Thus the performance of the kiln and the fuel consumption can readily be obtained at any moment by reading the counters. The weighing machines are coupled together and are discharged simultaneously and uniformly. The



Fig 8



correct functioning of these weighers is controlled by signal lamps mounted on the kiln platform within view of the burner. Fig. 1 shows the raw meal weigher and Fig. 6 the fuel weigher and coupling mechanism.

The mixture of raw meal and fuel from the weighing machines is elevated to a special mixing and moistening screw above the kiln (Fig. 7). In the first and wider portion of this screw the mixture is again intimately mixed in the dry condition. In the narrower portion it is moistened with about 12 per cent. water and well mixed wet. The crumbly mixture so obtained now falls through



Fig. 10.

the exit to the mixing screw on to the distributing screw of the adjustable and reversible kiln feed, located in the wrought-iron kiln hood, which is provided with an inspection door. By means of this feed appliance the mixture is uniformly distributed over the entire cross-section of the kiln. Fig. 8 shows the kiln platform, with kiln hood and feed. The waste gases are carried away by the wrought-iron chimney fixed to the side of the kiln hood.

The actual kiln shaft is simple in construction. It consists of a wrought-iron cylinder, 33 ft. high, with neither enlarged nor contracted portion. This is lined with firebrick, rather less than 8 in. thick, so that the effective diameter of the kiln is somewhat more than 8 ft. The lower end of the burning shaft

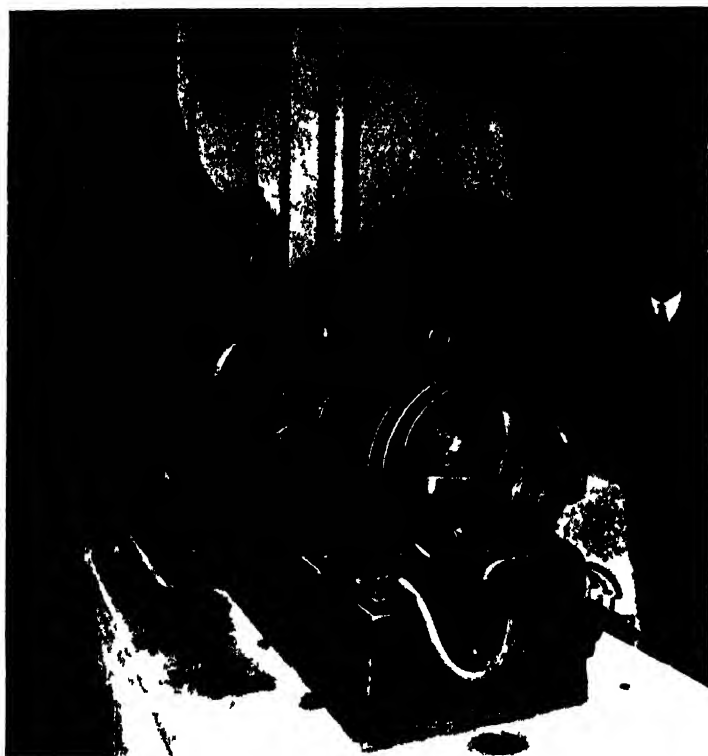


Fig. 11.



Fig. 12.

is closed by a mechanically-driven grate which breaks up the burnt and cooled clinker and collects it in a funnel-shaped receiver. Fig. 9 shows the electrically driven mechanism of the automatic grate.

The clinker is removed by the Andreas system of discharge locks, which has been specially constructed for this purpose. Even with the high air pressure of 39 inches water gauge used, there is no leakage of air, while the



Fig. 13.

clinker is obtained free from dust and is uniformly discharged. Fig. 10 shows the Andreas system of discharge locks, which are indestructible.

The air for combustion and cooling is produced by a compressor which provides 200 to 220 cu. yds. of air per minute at a static pressure of 31 to 39 ins. water gauge. Fig. 11 shows the compressor and driving motor with idle current compensation. This last compensates all the motors of the plant, so that they work with a power factor $\cos \phi = 1$ and the entire plant runs with the greatest possible power economy. Part of this air is introduced to t

kiln below the automatic grate, while additional controlled quantities are blown in through the secondary ring air-pipes and special nozzles above the grate. Fig. 12 shows part of the kiln shell with the secondary air supply rings and the throttle valves operated from the burning platform.

Information as to the conditions of the air supply is given by an instrument which records automatically both hydrostatic air pressure and air quantities. This instrument is installed on the burning platform as shown in Fig. 13. It measures and records both pressure and quantity of the air entering the kiln from the grate as well as through the two rings supplying secondary air. The records of this instrument afford the management an unprejudiced survey of the control of the kiln and the work of the burner.

The whole of the controls for the kiln are arranged on the burning platform, so that the manipulation of the kiln is simple.

The average output per 24 hours is 130 tons of high quality Portland cement clinker, with a fuel consumption of 18 per cent. small coke, corresponding to about 209,000 B.Th.U. per 100 lb. clinker. The overall power consumption of the plant working at full output is 80 kilowatts. Only two workmen are required—a burner and a greaser; the latter can comfortably serve two or three kilns.

The works described had previously 12 Dietz kilns in commission, giving a total maximum 24 hours output of 100 tons clinker; ordinary coal, high in volatile matter and expensive, was burnt, while 96 workmen were necessary for the 12 kilns. By the installation of the high-efficiency shaft kiln it was possible—without taking into consideration the increased output, the much cheaper fuel, and the higher quality of the product—to give effect to economies which allowed the management to write off the cost of the plant within 18 months

Trade Notices.

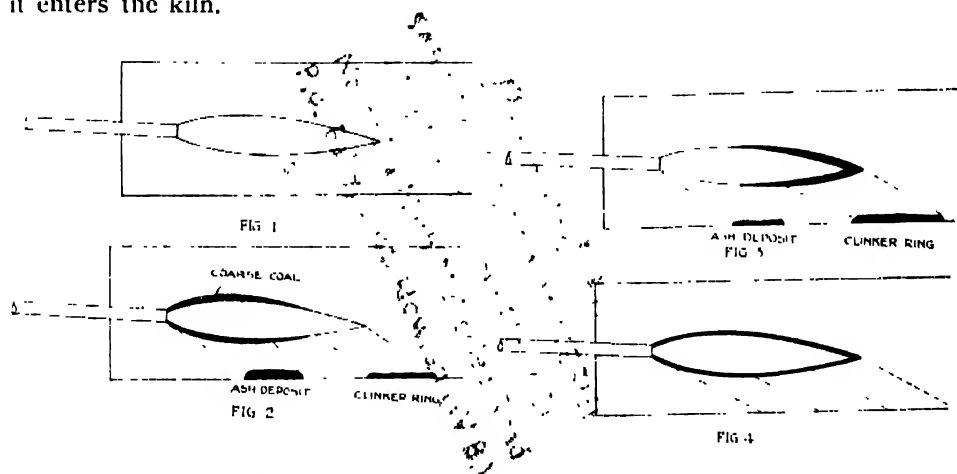
Screens & Sieves.—Messrs. Thomas Locker and Co., Ltd., of Ellesmere Works, Warrington, have issued a new illustrated catalogue of 100 pages describing their screens and screening equipment for all purposes.

New Cement Plant.—Messrs. Edgar Allen & Co., Ltd., of Imperial Steel Works, Sheffield, have received a contract from Cement Industries, Ltd., for the supply and erection of a complete Portland cement plant at Asheham, near Lewes, Sussex. The factory is designed for an ultimate capacity of 180,000 tons per annum, and will comprise three units of 60,000 tons, the first of which is now being installed. The raw materials comprise grey chalk and marl, and the factory will operate on the thick-slurry system. Transport of incoming and outgoing material is available by road, rail, and water, and power will be supplied from the grid system of the Central Electricity Board through the Ringmer Electricity Co., Ltd. The factory will concentrate on the production of rapid-hardening cement and will be equipped with modern plant such as the recuperator type rotary kiln, Rexman balanced rod mills, Fuller-Kinyon conveying equipment, etc. In addition, a Schulthess lime hydrating plant is being installed in connection with the existing lime plant, which is being enlarged.

The Rotary-Kiln Flame and its Relation to Coal, Air, and Coal Ash.

By O. FREY.

A BUNSEN burner, burning coal gas, forms a true parallel with the burning process in the rotary kiln, the burner, including the tube, playing the part of the coal firing nozzle (Fig. 1). A consideration of the Bunsen burner thus affords a clear picture of all the phenomena occurring in and around the kiln flame, although naturally the combustion of coal gas is much simpler than that of pulverised coal. Coal gas is easily ignited, and burns in cool air, while coal dust will only ignite in a preheated chamber such as is afforded by the clinking zone of the kiln. Coal gas is a distilled product ready for combustion, while coal dust is a material split up into two distinct phases the instant it enters the kiln.



On entering the kiln the coal is instantaneously distilled into coke and gas, and the coke powder is burnt forming ash and the gases of combustion. To commence this explosive reaction a certain temperature must prevail in the burning chamber, even when the kiln is initially fired. This temperature must be sufficiently high to decompose the coal into coke and gas, so that combustion may begin and proceed continuously in the flame. To attain this, a number of preliminary conditions must be complied with, in the absence of which the burning process cannot develop smoothly.

Conditions for Correct Flame Formation.

The correct utilisation of fuel is only ensured when the powdered coal forms an intimate mixture with the air from the fan, so that every particle reaches the nozzle floating in the air. This state is only attained when the coal is quite dry and sufficiently fine, and these are the fundamental conditions to be complied with. To obtain such an intimate mixture it must be arranged that an excess of coal does not find its way into the air stream. The coal stream is therefore well distributed and introduced in small quantities by means of several screws. Such small additions are much more readily dispersed when they encounter the air stream.

Having obtained the correct coal-air mixture by adequately drying the coal, the correct quality of the flame must be ensured by supplying coal of the correct degree of fineness, since it is clear that coarse, moderate, or extremely fine grinding will have different effects on the form of the flame, and upon its action on the kiln surface on which it impinges or to which it radiates heat. This will be illustrated by considering three typical degrees of grinding, viz., coarse, medium-fine, and fine. The term coarsely ground may be understood to apply to a material giving a small residue on the 76 (per inch) sieve, and 15-20 per cent. residue on the 180 sieve. Medium-fine grinding assumes only a trace on the 76 and 8 to 10 per cent. residue on the 180 sieve. Fine grinding covers materials showing only a trace, or at most 1 to 2 per cent., on the 180 sieve.

It is obvious that materials of such different degrees of grinding will be distributed differently over the flame, and this can be most clearly shown by Figs. 2 to 4.

Effect of Coarse Grinding on the Flame (Fig. 2).

If the coal is coarsely ground when it emerges from the nozzle there will be an immediate strong downward settlement of the particles forming the residue on the 76 sieve, which are, of course, completely unburnt. This portion of the fuel at once ignites with scintillations on contact with the glowing floor of the kiln and is converted to gas and ash. Each particle leaves a small quantity of ash behind, and this, with the residue on the 180 sieve, which is similarly deposited somewhat further in the kiln, rapidly forms a heavy deposit of ash, which can attain considerable thickness if the degree of grinding is not altered. When the grinding is too coarse the greater part of the fuel is too rapidly borne down into the cooler portion of the kiln, which it wastefully heats. An unnecessarily high fuel consumption is the result, while the cooling of the clinker in this cooler zone is diminished so that the clinker leaves the kiln at a higher temperature. Since smaller quantities of extremely fine coal reach the tip of the flame there is a smaller tendency to clinker-ring formation. As the type of flame obtained with coarse coal is accompanied with loss of heat, and it can immediately be detected by visual inspection of the kiln, this case is rare, and at most only transitory in practice.

Effect of Extremely Fine Grinding on the Flame (Fig. 3).

The case of extremely fine grinding of the coal is likely to occur much more frequently in practice. Coal that is too finely ground will, on emergence from the nozzle, be for the most part blown towards the tip of the flame. The coal is completely dissociated to gas and coke, and the coke is burnt before reaching the flame tip. As a result, minute droplets of liquid ash leave the flame tip or cone of combustion, and have a definite effect on the partially-burnt material. This fine rain of liquid ash, which penetrates far into the kiln, covers the nodules with a viscous skin of ash, which makes them stick to one another and results in the mass hanging up in the clinkering zone. Thin layers of material are thus deposited, one on top of the other, which melt together in the intense heat of the flame and form a ring. This ring may be large, or small, and, according to the nature of the coal ash, may rapidly lead to serious destructive effects. If the clinkering heat is not sufficiently great to cause fusion, the nodules of clinker retain their shape and form conglomerate deposits; or alternatively they fuse and lose their shape, forming dense hard layers with recognisable separating layers of ash. (Deposits due to erroneous mixing of the raw materials are not here considered). If under such conditions the firing

nozzle is not axial, but is directed on to the material, the liquid ash is directly forced into the material passing through the kiln and its action is accentuated.

Effect of Correct Grinding on the Flame (Fig. 4).

Correct grinding of the coal gives a uniform distribution of coal and ash in the flame. For every coal there is a suitable degree of grinding which is peculiar to it. In the majority of cases coal ground to this correct fineness leaves at most only a trace of residue on the 76 sieve, while the residue on the 180 sieve lies between 15 and 25 per cent. The important point is to adjust the grinding so that the extremes of behaviour are excluded and the ash is distributed uniformly over the entire clinkering zone.

It is obviously of great importance to ensure an adequate air current through the kiln, either by natural draught from the stack or artificially by means of a fan. It should be noted that a correctly adjusted artificial draught, such as is used with the shaft kiln, results in forced and uniform working. The length of the flame, and hence of the clinkering zone, will be increased by some two to three yards, and the flame will more nearly approximate to a pointed flame. Under these conditions it is important to ascertain whether the firing nozzle is directed axially or on to the material, upon which depends whether the action of the flame on the material is accentuated or not.

The correct adjustment of the secondary air is important for good combustion and for maintaining an oxidising flame. Measurements must be made of the quantity of secondary air admitted to the kiln. The burning of the kiln is best controlled by analysis of the flue gases, which will have the following composition if the correct amount of air is being admitted: CO_2 , 25 to 26 per cent.; O , 1 to 2 per cent.; CO , a trace. In order that the flame may continuously burn under the best conditions the air and exit gases must be so regulated that there are no interruptions. This regulation is best achieved by the adoption of forced draught.

The necessity for taking account of the coal ash in calculating the composition of the raw meal must also be considered. If, for example, a coal of exceedingly high silica content is used, this is essential if the final product is not to have a very different composition from that calculated. This also holds in the case of coal ash of high iron oxide or lime content, etc. It is obviously important in this connection to know to what extent the coal ash passes into the raw meal, which greatly depends on the type of lifters installed in the kiln. With chain lifters, for example, the ash is almost quantitatively absorbed by the raw meal, while with other types the opposite is true.

Generally the following conditions are suitable for a correct firing:

- (1) Closest possible mixing of air and coal at the moment of meeting.
- (2) Driest possible coal.
- (3) Most even grading of coal possible.
- (4) Even air pressure and draught; regular artificial blowing is best.
- (5) Use of coal of the same quality. Ash content as low as possible.
- (6) Air pressure direction as close to the firing point as possible.
- (7) Assimilation of the ash composition by that of the raw grind as far as this is possible.
- (8) Avoidance of air loss above the normal limit (1-2 per cent. in gas given off).
- (9) Avoidance of too small an air supply.
- (10) When all the conditions affecting firing are fixed, no alterations should be made.

Progress in Cement Research During 1930.—II.

By O. F. HONUS.

Production and Improvement of Cement.

THE Dwight and Lloyd Metallurgical Co.,³⁷ of New York, with R. W. Hyde, mix the powdered cement raw materials with fuel, and in certain cases with the residues from similar processes, and heat to clinkering temperatures between 1000 and 1450 deg. C. A porous mass is so obtained, which is again burnt at 1200-1600 deg. to give cement clinker and then ground. E. J. Hume,³⁸ of Australia, suggests making a mud of soft consistency by mixing water and clay or clay schist, thoroughly amalgamating this with the requisite amount of ground limestone, and briquetting and burning. H. Stehmann,³⁹ of Berlin, achieves a reduction in the water content of raw material slurry by feeding dry raw meal to the rotary kiln near the slurry inlet in such quantities that the additional heat in the waste gases suffices to evaporate the whole of the water. H. Meuris⁴⁰ of Brussels obtains sulphuric acid and cement by heating a briquetted mix of CaSO_4 , clay, coal and a metal carbonate such as CaCO_3 or FeCO_3 , under conditions such that the whole of the coal is burnt before reaching the clinkering zone. The undesirable formation of CaS should thus be avoided. E. Urbain⁴¹ obtains potassium sulphate together with an excellent cement by heating together felspar and potassium phosphate in an electric furnace; P_2O_5 and potassium are thus driven off and are recovered as K_3PO_4 . The addition of Fe_2O_3 to the melt in the furnace is suggested with the object of reducing the silicon content by the formation of ferrosilicon. The Kolloidchemie Studien-gesellschaft of Hamburg with J. B. Carprow⁴² propose to obtain hydraulic cements and sulphuric acid from naturally occurring calcium sulphates or technical waste gypsum by forming a mud with salt or fresh water and burning the intimate mixture—possibly after weathering—at 800-900 deg. C. in the rotary kiln.

J. Hempel⁴³ of Poland obtains high silica cements by heating limestone of suitable composition with silica to clinkering or almost to clinkering. The percentage composition may vary between 60-70 SiO_2 , 20-30 CaO and 4-5 R_2O_1 . The product, alone or mixed with Portland cement, is extremely resistant to sea-water, acids and alkalis. According to the A.A. Fertiliser Works, Chicago, with H. Meyers⁴⁴, a mixture of crude phosphates low in silica with materials containing potassium and aluminum, and if desired, coal, gives a residue of calcium aluminium silicates which can be ground to a cement. The volatile potassium and phosphorus released on burning can be made to produce potassium phosphate and used as manure.

F. W. Huber⁴⁵ obtains good cements by burning in the rotary kiln at 1300-

³⁷ U.S.A. Pat. 1746944.

³⁸ Australian Pat. 16269/28.

³⁹ German Pat. 498203.

⁴⁰ English Pat. 324199.

⁴¹ French Pat. 679827.

⁴² German Pat. 502894.

⁴³ French Pat. 686455.

⁴⁴ U.S.A. Pat. 1778224.

⁴⁵ U.S.A. Pat. 1781232.

1400 deg. C. mixtures of clay or similar alumina containing substances with calcareous materials containing 2-3 per cent. P_2O_5 and an amount of Fe_2O_3 , rather more than equivalent to the P_2O_5 .

In order to obtain cement of constant composition, the Soc. des Ciments Portland Artificiels⁴⁶ subject the raw materials to a treatment which enables the ingredients to be readily separated, so that they can then be mixed in the requisite proportions and burnt. For example, raw materials containing $CaCO_3$ and SiO_2 are ignited, and the product air elutriated to separate the CaO and SiO_2 or silicates. The I. G. Farbenindustrie A.G.⁴⁷ facilitate the reaction in the process of obtaining sulphuric acid and cement from gypsum by adding the coal to the raw gypsum and clay, forming the mixture into a paste with water, and pressing it into blocks which are burnt.

J. H. Bradbury⁴⁸ attempts the simultaneous production of Portland cement and iron (containing copper) by fusing together slag with lime and coke in an arc furnace constructed of magnesite bricks. The coke consumption was, however, higher than was anticipated, while the reduction of FeO was difficult and only complete when the reaction was taken as far as the formation of CaC_2 . At this stage, however, there was also considerable reduction of MgO . The resulting material crumbled on slowly cooling, but this could be avoided by quenching in water and a usable cement could so be obtained. The iron, which amounted to 10-20 per cent., was largely contaminated with Si, P, Mg, Cu, and carbon. D. Werner and St. Gierz-Hedstrom⁴⁹ obtain a highly resistant mixed cement from Portland cement and arsenic by heating a mixture to about 200 deg. C., the best proportions were 30 parts As_2O_3 to 70 Portland cement.

P. Mecke⁵⁰ obtains waterproof cement or lime by the addition of a dry powder consisting of NH_3 - or alkali salts which have been ground or fused together with fatty acids. Heat-resisting material particularly suitable for the inside masonry of furnaces is obtained by Riley, Lay, Clark and Cronk⁵¹, U.S.A., by mixing ground cement with salt, clay, calc spar and CaF_2 . G. S. La Forge⁵², U.S.A., proposes to add unground cement clinker to a cement raw mix, and then grind and burn the mass. The burning is facilitated and shortened by the presence of the powdered clinker in the raw mix. The British Portland Cement Manufacturers, Ltd., S. G. S. Panisset and W. S. Hannah,⁵³ obtain white cement by burning the raw mix and at once treating it with a reducing agent, followed by rapid cooling to prevent re-oxidation. The reduction may be carried out by a blast of powdered coal or by pouring the red hot clinker on a surface coated with paraffin.

By grinding a mixture of Portland cement, a calcined stone containing quartz and felspar, and a substance high in acidic constituents ($SiO_2 + R_2O_3$), G. Imai⁵⁴ of Tokyo obtains a mixed cement. H. C. Badder⁵⁵ fuses Portland cement and adds metal oxides, carbonates or other salts to obtain coloured cement. In another instance, E. Urbain⁵⁶ heats crude phosphate and aluminium silicates

⁴⁶ French Pat. 690021.

⁴⁷ Belgian Pat. 353425.

⁴⁸ Chem. Eng. Mining Rev., Vol. 22, p. 443; Vol. 23, p. 27, 1930.

⁴⁹ Technisk Tidskr., Vol. 60, p. 41, 1930.

⁵⁰ German Pat. 512876.

⁵¹ U.S.A. Pat. 1756762.

⁵² U.S.A. Pat. 1784840.

⁵³ English Pat. 331584.

⁵⁴ English Pat. 319342; French Pat. 670362.

⁵⁵ English Pat. 320597.

⁵⁶ French Pat. 695221.

such as felspar with coal (the quantity of which depends on the type of furnace) to 400-600 deg. C. K_2O , P, and CO are given off, and the residue, which has the percentage composition $50CaO$, $20Al_2O_3$, $30SiO_2$, can be used as cement.

The Eddystone Cement Corporation and E. R. Willner⁵⁷ of New York heat the cement raw materials, separately, to relatively low temperatures, e.g., the clay to 800 deg. C. and the limestone until CO_2 is completely expelled. They are then mixed, ground to the requisite degree of fineness, and—possibly after adding gypsum—agitated in water or steam. The product is waterproof, impermeable to air and resistant to sea water and acids.

Production of Aluminous Cements.

The French Lafarge Company⁵⁸ propose to add finely divided $CaSO_4$ to aluminous cement, or to the raw materials, in such quantities that all the Al in the final product is present as calcium sulphoaluminate. E. Urbain⁵⁹ obtains water gas, phosphoric acid, aluminous cement and highly active charcoal by a modification of his master patent 639,112, which consists of heating raw phosphates containing alumina with coal in an electric furnace. The gases evolved are mixed with steam and HCl and passed through a layer of amorphous porous charcoal at about 1000 deg. C. To prevent the formation of compact masses during the solidification of fused cements, R. S. Lewy⁶⁰ suggests cooling the molten mass in a stream of hot gases or hot air, or mixing it on emerging from the furnace with the clinker of fused cement previously obtained, or with lime-cement clinker or blastfurnace slag.

In another process, Lewy⁶¹ obtains aluminous cement by mixing with the raw materials dust-free lime-cement clinker in pieces of about the size of peas; the mixture is burnt to clinkering. Under these conditions the rotary kiln lining is less attacked and the caking of material on the kiln walls is prevented. In the production of aluminous cements B. Spiegl⁶² grinds lime and bauxite (the latter containing 5-15 per cent. iron) so that there is at least a 15 per cent. residue on the 76 (per inch) sieve. The time of burning must be longer than in the case of mixtures of normal fineness. The economy in grinding is greater than the increased fuel consumption. The I.G. Farbenindustrie⁶³ obtain aluminous cement and phosphorus in two stages. In the first stage a bauxite of percentage composition, say, $65Al_2O_3$, $20Fe_2O_3$ and $2SiO_2$, is fused together with CaO and coal in the proportions 100 : 17 : 10, to remove the iron. The resulting slag contains 80 per cent. Al_2O_3 , 19CaO, and $1SiO_2$. In the second stage this is fused together with hardrock phosphate (containing 35 per cent. P_2O_5 and 51CaO) in the proportions 2:1, again in the presence of coal. The resulting aluminous cement has the percentage composition 48CaO, 48 Al_2O_3 and 4 SiO_2 . The Comp. des Produits Chimiques et Electrometallurgiques Alais, Froges et Camarque,⁶⁴ mix bauxite, gypsum and coal in proportions giving mono- and di-calcium aluminates, clinkering at 1200-1250 deg. C. W. Kyber⁶⁵ obtains aluminous cement and phosphorus by fusing together Al phosphate, CaO and coal. In order to render innocuous the sulphur in fused cement prepared from crude

⁵⁷ U.S.A. Pat. 1785508.

⁵⁸ English Pat. 317783.

⁵⁹ French Pat. 34556.

⁶⁰ French Pat. 680762.

⁶¹ French Pat. 680763.

⁶² U.S.A. Pat. 1775575.

⁶³ Polish Pat. 10863 and German Pat. 483399.

⁶⁴ French Pat. 678096.

⁶⁵ German Pat. 495436.

phosphate, Kyber⁶⁶ adds MgO to the raw mix or to the molten mass. This should prevent strength reduction and the formation of H₂S on mixing with water.

Properties.

The effect of silica gel in increasing the resistance of Portland cement mortar to sulphates was investigated by Thorvaldson, Vigfusson and Wolochow.⁶⁷ In the presence of calcium and sodium sulphates, additions of silica gel to Portland cement allowed to set and harden in steam at 100 deg. C. tended to prevent expansion and maintain the tensile strength. Mortars containing up to 20 per cent. of silica gel (on the weight of cement used) and hardened in steam showed somewhat higher resistance to sodium and calcium sulphate solutions than mortars similarly treated, but without gel. The contrary was the case in MgSO₄ solution. Mortars of lime, silica gel and sand, reacted to sulphates in the same way as mortars of cement, gel and sand. D. Wernher⁶⁸ determined the solubility of various kinds of cement by shaking them with repeated quantities of water in a special apparatus. He determined the amounts of CaO, SiO₂, R₂O₃ and alkalis in the resulting solutions, and showed that additions of acid reduced the solubility of lime.

Dorsch and Deubel⁶⁹ investigated the viscosity of setting cement by the immersion filter method, and showed that in all cases there was a pronounced increase in viscosity after 0-60 minutes, which was succeeded by a period of constant viscosity lasting some 30 minutes. This was again followed by a further increase of viscosity, this time slow. The observations are brought into agreement with the theory of setting.

H. Kühl⁷⁰ proposes to substitute the "lime saturation value" for the hydraulic modulus. The lime saturation value represents the theoretically highest amount of lime required for formation of the compounds 3CaO.SiO₂, 3CaO.Al₂O₃, and 2CaO.Fe₂O₃; it is expressed by the formula:

$$\text{CaO} = 2.8\text{SiO}_2 + 1.65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.7\text{Fe}_2\text{O}_3.$$

Hydration, Setting and Hardening.

Thorvaldson, Grace and Vigfusson⁷¹ in a continuation of their work on the hydration of tricalcium aluminate obtained the hexahydrate in the form of small trapezoids by the action of steam on the compound at 130 deg. C. The hexahydrate was also produced—mainly in the form of cubic crystals—by the action of steam on a mixture 3CaO + 1Al₂O₃. The two products gave the same X-ray spectrum. The solubility in water was 0.0346 g. anhydride in 10 c.c. solution at 21 deg. C., and 0.02689 g. at 40 deg. By shaking 3CaO.Al₂O₃ with much water at low temperatures they obtained another high hydrate, having the crystal form described by Klein and Phillips.⁷² By isothermal decomposition at 21 deg. over solutions of various definite vapour tensions evidence was obtained of the existence of hydrates of 3CaO.Al₂O₃ containing respectively 12, 10.5, 9.8 and 6 molecules of water. The heat of solution of the hexahydrate of 20 deg. was 51.9 g. cal. per g. anhydride; for the 9.8, 10.5 and 12 hydrates the values were respectively 21, 37 and 47 g. cal. per g. lower.

⁶⁶ German Pat. 511520.

⁶⁷ Canadian J. Res., Vol. 1, p. 385, 1929.

⁶⁸ Technisk Tidskr., Vol. 60, No. 37, Kemi. pp. 57, 68, 1930.

⁶⁹ Kolloid Ztschr., Vol. 51, p. 180, 1930.

⁷⁰ Tonind. Zeit., Vol. 54, p. 389, 1930.

⁷¹ Canadian J. Res., Vol. 1, p. 201, 1929.

⁷² Bureau Standards Tech. Papers, No. 43, 1914.

According to A. Stopoe⁷³ different kinds of trass have different effects on the setting time of Portland cement. In general trass retards the set, but it has less effect on high-strength than on ordinary cement. The initial set of Kühl cement is accelerated by trass, while the final set is retarded by smaller additions. The effect of trass on Portland cement is the reverse of that on Kühl cement, as is shown by the setting times.

Kühl, Gottfried and Thilo⁷⁴ showed that the hardening of cement cannot be studied in the presence of great excess of water, since under such conditions hydrolysis proceeds further than in the normal setting of concrete. This is confirmed by X-ray spectroscopy. Since technical mortars contain crystalline substances *ab initio*, a vitreous blastfurnace slag was used in this research, and was gauged with CO_2 -free KOH solution. After ten days, although excellent strength was attained, no crystals were found on microscopic examination. This was confirmed by X-ray analysis, and it was concluded that hardening must be a colloidal chemical process. Haegermann⁷⁵ found that a case of deranged setting was due to the presence of N_2O_5 in the mixing water. A research by S. Stein⁷⁶ confirmed the opinion of Grauer that the initial action of gypsum is to neutralise the alkali set free on hydration. Later, the gypsum causes an intensive swelling of the cement, and the strength increases parallel with this. Probst and Dorsch⁷⁷ found as a result of experiments in gauging cements with tap water and distilled water that the strength values are apt to vary, and propose the use of distilled water in testing.

According to the investigation of F. O. Anderegg and D. S. Nubell⁷⁸ on the speed of hydration of cement clinker, particles of cement of diameter $15\text{--}25\mu$ were approximately set at the end of 9 months, and setting was complete in 12 months. Particles of $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ of 25μ dia. were 75 per cent. hydrated in 3 hours, $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ in 7 days, and $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ in $5\frac{1}{2}$ months. The corresponding setting times for the cements investigated lay between those for the two silicates. In general, mixtures of minerals reacted more rapidly than individual minerals. This applies particularly in the case of Portland cement. Y. Shimizu⁷⁹ applied the electrical conductivity method to the study of the setting of his slag-aluminous cement, as well as a blastfurnace and an iron-Portland cement. The conductivity curves showed that the setting and hardening of the slags are accelerated by the cement, and the curves enable a suitable mixture of slag and cement to be derived. The slag-aluminous cement showed the best strength.

K. Koyanagi⁸⁰ studied the hydration of Portland cement and the influence of monocalcium phosphate on hydration. Hydration has hitherto mostly been investigated in the presence of excess water, and using pure clinker without gypsum; the conditions were thus other than obtained in practice. Moreover, hydration proceeds differently with good cements than with cements showing lime expansion. Fifty rotary clinkers were gauged with ten different quantities of water and the progress of hydration was observed. Crystals of calcium sulphoaluminate were produced by shaking a powder of the best clinkers with

⁷³ Tonind. Zeit., Vol. 54, pp. 2, 37, 590, 1930.

⁷⁴ Zement, Vol. 19, p. 262, 1930.

⁷⁵ Ibid., p. 264.

⁷⁶ Ibid., p. 240.

⁷⁷ Ibid., p. 1009.

⁷⁸ Proc. Amer. Soc. Test. Mat., Pt. 2, p. 554, 1929.

⁷⁹ Sci. Reports, 1, 19, p. 307, 1930.

⁸⁰ J. Soc. Chem. Ind. Japan, Suppl. 33, p. 147B, 1930.

water and allowing to remain for 2-3 hours in contact with gypsum solution. The needle crystals then separated in flocculent masses. The clinker must, however, be fresh and must not contain more than 0.4 per cent. free CaO.

The needles do not separate in the case of clinker of high SO_3 -content. For leaching out, 30 times its weight of water must act on the clinker for 8-14 hours. The crystals have the composition $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\frac{1}{2}\text{CaSO}_4 \cdot 30\text{H}_2\text{O}$; the needles are optically negative, uniaxial and feebly double refracting. With well-burnt clinker the following hydration products are produced: thick short needles and thin hexagonal plates of $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$; the needles are slowly transformed into the plates. In the presence of gypsum needles of sulphoaluminate are formed, with later a gel mass and $\text{Ca}(\text{OH})_2$. In no case were calcium silicate crystals found. The retarding action of gypsum is due to the formation of sulphoaluminate. Hardening depends on the formation of the calcium silicate gel. Gel formation is the first stage of the hydration of underburnt clinker. The short needles of aluminate are only formed in the presence of large quantities of water. Cement of high free lime content requires a greater quantity of water for the formation of aluminate needles. With underburnt clinker the plates of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ separate sooner than in the case of good cement, especially when much free lime is present. By this means free lime can be detected in underburnt clinker. Only after some weeks does the aluminate make its appearance. In this case also, hardening is due to the formation of gel. $\text{CaH}_2(\text{PO}_4)_2$ ⁸¹ greatly disturbs the course of setting, but has no effect when setting is complete. This action depends on its hindering the hydration of the calcium aluminate. On the other hand, the phosphate firmly combines with lime to form insoluble phosphates.

G. Haegermann⁸² burnt twelve different technical raw meals under identical conditions at 1225-1475 deg. C., determining the free lime in the ground clinkers by the method of Emley and testing the soundness by the boiling and cold water tests. Under the conditions of heating prevailing in the rotary kiln the clinker should be completely burnt at 1275 deg. As indicated by the boiling test, however, the degree of burning may vary by more than 200 deg., and in the case of the cold water test by 100 deg. Clinker containing 2 per cent. free lime generally withstands the boiling test, while 1 per cent. free lime always passes this test. Clinker containing 4 per cent. free lime may pass the cold water test.

(To be continued.)

⁸¹ *Ibid.*, p. 276B.

⁸² *Zement*, Vol. 19, p. 982, 1930.

Proposed Cement Works in Bulgaria.

We learn from the Bulgarian Official Gazette that permission has been granted to Industrie und Handelsgesellschaft "Ziment" to construct a cement and hydraulic lime works.

Enlarged Cement Works in Belgian Congo.

It is expected to operate in January, 1932, a new kiln at the Lukala cement works which will increase the annual capacity to 54,000 tons.



Fig. 1.—General View of Works



Fig. 2.—Cranes.

Left to right: Limestone Discharge ; Cement Loading ; Coal Discharge.

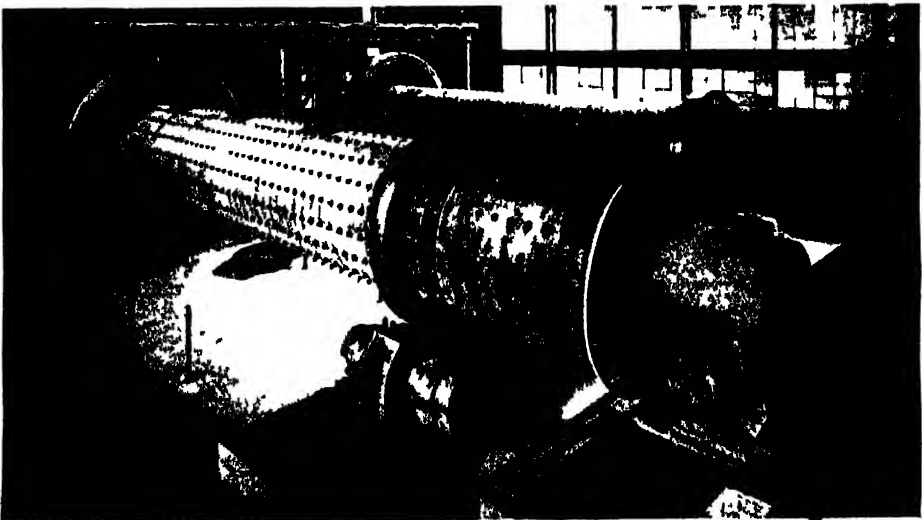


Fig. 3.—Wet Mills.

The Neuwied Cement Works.

New Cement Works at Neuwied on the Rhine.

By L. E. PERES.

THE cement works at Neuwied, one of the largest and most up-to-date in Europe, was erected in 1930 for the Wicking'schen Portland-Cement und Wasserkalkwerken A.G., of Münster, with the objects of utilising the cheap water transport afforded by the Rhine, of supplying the Rhenish tuff-producing area with cement at low freights, and of obtaining cheap supplies of trass for the extensive manufacture of trass cement. The entire project was carried out by the Andreas Maschinenbaugesellschaft, m.b.H.

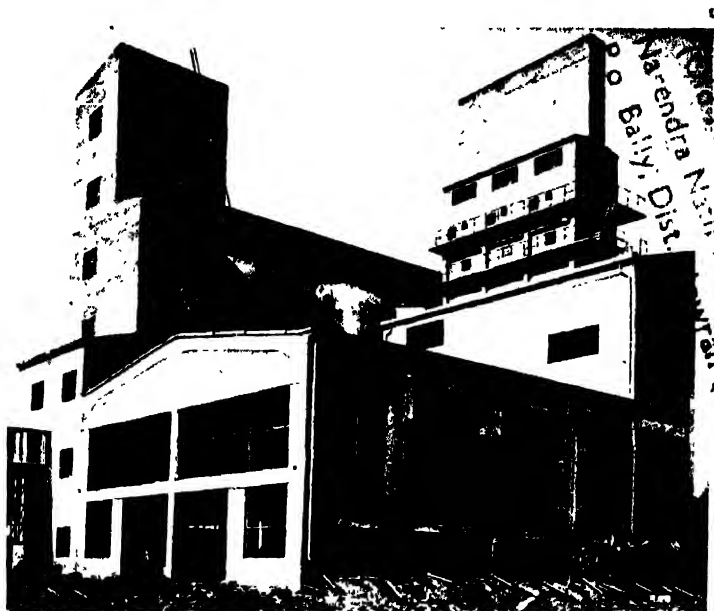


Fig. 4.—Coal Plant.

The limestone is obtained from quarries at Oppenheim where it is broken up in hammer crushers. It is then transported to the Rhine and stored in silos for loading into barges. The clay is obtained from deposits near Coblenz. It is slurried in wash-mills at the quarry and the slurry is pumped along a pipe-line to a tanker.

On arriving at the works the limestone is unloaded by a revolving crane capable of spanning the length of any Rhine barge. The grab of the crane deposits the material in a car of $6\frac{1}{2}$ cu. yds. capacity suspended from a high-speed electric aerial railway which conveys the limestone to a large raw material store. The store is sufficiently large to eliminate difficulties of supply due to high water or freezing of the river. The clay slurry is pumped from the tanker by centrifugal pumps into storage tanks with stirring gear. An entire ship can be thus discharged within an hour. The limestone is transferred from the store direct to the feed silos of the wet compound mills by means of a grab-crane. These feed silos hold sufficient material for an eight-hour shift.

The building containing the two 46 ft. by 7 ft. 3 in. wet mills is combined with that containing the two cement mills, so that a single attendant can supervise the entire grinding plant dealing with more than 1,000 tons of material per day. The two 46 ft. by 7 ft. 3 in. cement mills can deal with a daily output of more than 1,000 tons of normal cement giving 10 to 12 per cent. residue on the 180 sieve or of special and trass cements having a residue of 2 to 4 per cent. on the 180 sieve. The raw-material slurry is pumped from the grinding mills to the slurry silos by centrifugal pumps where it is homogenised by a compressed air process.

The cement is burnt in two coal-fired, wet-process rotary kilns, approximately 208 ft. long and 11 ft. in diameter. On leaving the kilns the waste gases, at approximately 250 deg. C., pass through a Lurgi electrical dust extraction plant.

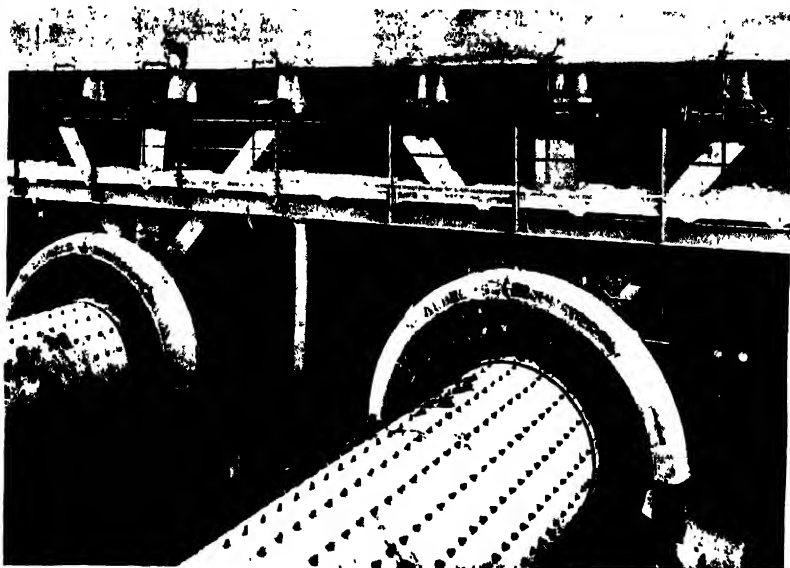


Fig. 5.—Cement Mills.

Behind the dust chamber are two large exhausters which assist the passage of the purified waste gases into two concrete stacks 200 ft. high and of 11 ft. internal diameter at the top. About 99 per cent. of the dust is by this means removed from the exit gases. The preliminary treatment of the coal is carried out in a special plant. The coal is discharged from the ship by a crane which can revolve through 360 deg. and is transported to the raw coal silos on a band conveyor. The coal is automatically discharged from the silos, and bituminous and anthracite coal can be accurately mixed in any required proportions. The mixture passes to a rotary drier and thence to a compound mill, 42½ ft. long and approximately 6 ft. in diameter, which can deal with over 20 tons per hour, grinding to 6 per cent. residue on the 180 sieve; this mill is adequate to cope with future increased production, and the provision of a reserve coal mill is considered unnecessary. The burnt clinker is transported to the clinker silos by means of vibrating chutes and bucket-elevators, and then passes on conveyors to the cement mills.

The works has been designed to allow for future extensions, and at present appears discontinuous in layout. The packing and loading plant provide for



Fig. 6.—Bag-filling Plant.

filling both paper and jute sacks as well as barrels. Andreas valve bag-filling machines are used for sacks; one operator can fill 1,000 bags per hour. The barrels are filled by an Andreas automatic barrel-packing machine, dealing with 100 barrels per hour and requiring only one attendant. Band conveyors deliver the bags either directly into trucks or to the car of an overhead electric railway which conveys them to the ship. The barrels are automatically removed over the rollers from the shaking platform to an automatic fastening machine. They are then delivered, again over rollers, to the hanging car of the electric overhead railway, and thence to the ship. The overhead electric railway, which traverses both bag-filling and barrel-filling departments, reaches all parts of the stationary ship. It affords the simplest and cheapest means of carrying out future extensions. The railway siding is situated between the sack-filling and barrel-filling departments, so that both of these can easily deliver to trucks. The barrel-filling shed is provided with a loading ramp for automatic transport. The total staff of the works, including executive, laboratory and workshops, is 160 for a daily output of over 1,000 tons.

Danish Cement Industry.

The Danish Press reports that the East Asiatic Company, of Copenhagen, has transferred to Messrs. F. L. Smidth & Co., Ltd., the control of the Norresundby Portland Cementfabrik. This company has an issued capital of Kr. 1,250,000 and a yearly capacity of 150,000 tons. Messrs. F. L. Smidth & Co., Ltd., now control the Danish cement industry with the exception of the co-operative factory, the Dansk Andels Cement Fabrik.

The "Rotary Fluxo" Packer.

THE "Rotary Fluxo" packer is a machine designed for the automatic packing and weighing of cement, ground lime, ground phosphates, soda ash, and similar finely-ground materials into valve bags of paper or jute.

After full consideration of all the features necessary for the most economical packing, attention was concentrated on (1) reducing the size of the bags; (2) making the weighing accurate; (3) reducing labour costs; (4) increasing the number of bags packed per hour per man to 1,200-1,400; and (5) constructing a machine with no rapid-moving parts.

To prevent air being drawn into the bag while filling, the "Rotary Fluxo" packer has been designed with ten spouts, and although the machine fills 1,200 to 1,400 bags per hour the time allowed for the filling of each bag is longer than usual.



Fig. 1.—Packer.

In its design the "Rotary Fluxo" packer differs essentially from all other types of valve bag packers. The material to be packed and weighed is brought to a fluid state by the addition of a small amount of compressed air in conjunction with a mechanical stirring arrangement, and then flows by gravity into the bags through the filling spouts; by maintaining a constant head in the supply hopper, the stream can be controlled as accurately as if the material handled were a real fluid.

In order to get the largest possible amount into the bags, the filling takes place in two stages. In the first stage the bag is nearly filled. It is then rapped by small beaters on the outside, which cause the air to escape and the



Fig. 2.—Conveyor from Packer.

material to settle and occupy a minimum amount of space. After this the second filling takes place, and, when the correct weight is obtained, the lever on which the bag is suspended drops and the flow of material is interrupted. The bag is automatically discharged from the packer.

As will be seen from Fig. 1, the machine contains a cylindrical supply hopper on which the spouts are arranged. This hopper rotates around its own axis, and each filling spout passes the attendant whose sole duty is to place the empty



Fig. 3.—Despatch Department.

bags on the spouts. One man can comfortably handle 1,200 to 1,400 bags per hour.

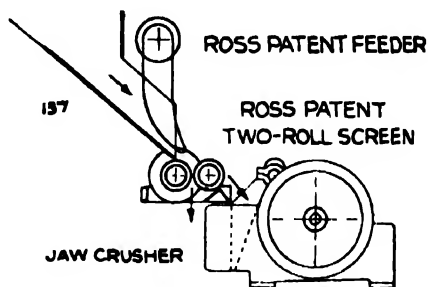
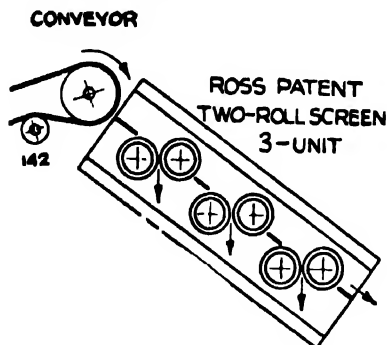
In some packing machines the attendants can pull a lever and release the bag before it is quite full, which affects the accuracy of weighing. The capacity of the "Rotary Fluxo" packer, however, is governed by the speed of the machine and not by the skill of the attendant, and the accuracy of weighing cannot be interfered with as the sacks are automatically discharged before they get near the attendant.

The machine discharges the bags on to a chute, from which they may be taken direct to the wagons, or to a band conveyor which conveys them to wagon, lorry, or ship. It is claimed that this packer ensures cheaper bags, accuracy of weighing, maximum capacity, and low labour cost. Fig. 2 shows the conveyor from the packer to the despatch department, and the despatch department is shown in Fig. 3. The machine is made by Messrs. F. L. Smidth & Co., Ltd.

A New Screen.

A roller bar screen which operates in a new way and which is guaranteed to be immune from blocking, jamming and jarring no matter what the material or how it is fed, is guaranteed free of any crushing action, and in which the aperture size can be adjusted and altered over a wide range while running or still, has been put on the market by Messrs. Ross Patents Ltd., of London.

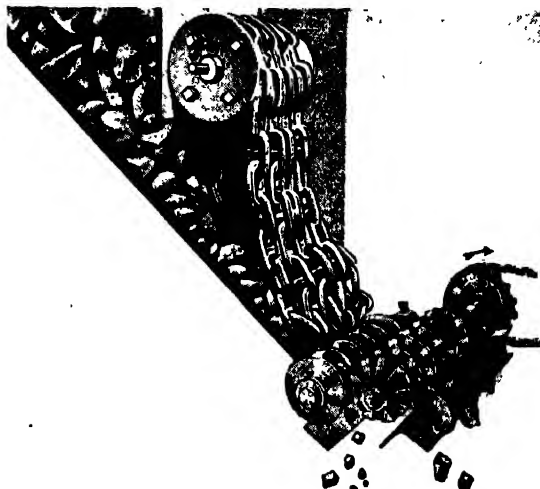
As shown in the illustrations, the screen elements consist of alternate free and driven rolls having smooth and serrated corrugations respectively. The screens consist of two, four, six or more rolls for duties ranging from heavy scalping to fairly small sizing work. The fine material flows down in the smooth corruga-



tions of the idle roll and passes through the apertures, practically untouched by the serrated roll. The oversize pieces are instantly ejected upon contact with the serrated surface of the driven roll, which at the same time imparts to the pieces a positive and cleansing vibration. The apertures themselves vibrate, due to the slight but rapid alterations in size as serration follows serration past the mid point. The screen is thus not only "live-roll" but "live-aperture." The makers' tests show that two of these "live-aperture" rolls do the work formerly requiring six of the old type "live-rolls."

The makers demonstrate the "immunity from blocking" claim by dumping on the screen a mass of scrap metal. They also press down into the apertures long twisted bars of great length, which simply move up and out as if the force of gravity were reversed.

The "free from crushing" claim is substantiated by passing over the screen pre-screened friable coke and soft coal. The weight of the largest fine cubes



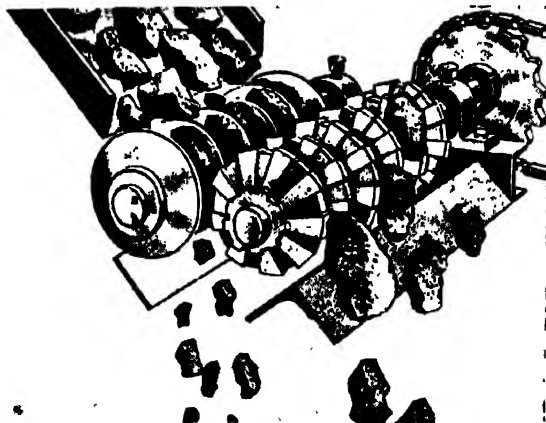
Chain-feed of "Ross" Screen.

passed through at the minimum and maximum aperture settings is one and three respectively, a very generous adjustment range.

The Ross two-roll vibrating screen is built in standard sizes with rolls from 3 in. to 33 in. diameter and apertures from $\frac{1}{2}$ in. to $9\frac{1}{2}$ in. Larger sizes are built to requirements, and the makers point out that with the new screen it is now possible to do mechanically the very heavy work done hitherto only by strongly built grids and bar grizzlies plus manual labour.

Sticky materials, which tend to pass over the usual vibrating screen surface in an unscreened layer, respond readily to the breaking up and agitating action of the Ross two-roll screen. A compact and economical unit has been specially designed for placing over the head end of existing mesh-cloth vibrating screens for the purpose of breaking up sticky material.

The makers also state that the new screen in its multiple form lends itself



Rolls of "Ross" Screen.

well to washing operations; they claim that the screen turns the material and presents it ideally to the water jets, and that the nozzles can be better positioned with relation to the material.

This screen is handled in the United States by The Ross Screen and Feeder Co., of New York.

Notes from the Foreign Press.

Abstracted by J. W. Christelow, B.Sc.

Action of Gypsum on the Setting of Cement. K. Koyanagi. *Zement*, Vol. 20, p. 215, 1931.

Additions of gypsum dihydrate, hemihydrate and anhydrite (both dehydrated and natural) ranging from 0.5 to 10 per cent. SO_3 were (1) ground with a rotary clinker in a laboratory ball mill and (2) ground separately and added to the cement. The natural anhydrite contained 4.12 per cent. water. Setting-time determinations showed that for each type of gypsum there is an optimum quantity giving maximum retarding action, *viz.*, for the dihydrate corresponding to 2 per cent. SO_3 , for the hemihydrate 1.5 per cent. SO_3 , for the artificial anhydrite 1.2 per cent. SO_3 , and for the natural anhydrite 5 per cent. SO_3 . With artificial anhydrite 1.5 per cent. SO_3 renders the cement quick setting (initial set 20 minutes, final 45 minutes, as against initial 3 hours 22 minutes, final 4 hours 42 minutes with artificial anhydrite corresponding to 1.2 per cent. SO_3 and initial 6 minutes, final 20 minutes for the untreated cement). The retarding action of all forms of gypsum was greater when the gypsum was ground separately and then mixed with the cement than when it was ground with the clinker; this is possibly due to better mixing in the former case.

Lime Content of Aluminous Cements. H. Kühl and S. Ideta. *Zement*, Vol. 20, p. 261, 1931.

It had already been found that Kühl's "lime saturation factor"

$$S = \frac{100\text{CaO}}{2.8\text{SiO}_2 + 1.65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.7\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

was a good criterion for the optimum lime content of Portland cements (hydraulic modulus 1.70 and over). An attempt was made to obtain a corresponding formula for the optimum lime content of aluminous cements. The strengths of a series of synthetic melts were determined by Kühl's small-scale method of testing, and an endeavour was made to co-ordinate strength and composition. It was confirmed that the lime saturation factor is valid for Portland cements, even including cements very low in silica, but no corresponding formula could be derived for the optimum lime content of aluminous cements. It appears that the lime content of these cements should not be decreased in proportion as the Al_2O_3 increases, but rather according to a mathematical progression which the available data are insufficient to establish.

A Mixed Cement of Low Solubility from Portland Cement and Arsenious Oxide.

D. Werner and S. Giertz-Hedström. *Zement*, Vol. 20, p. 384, 1931.

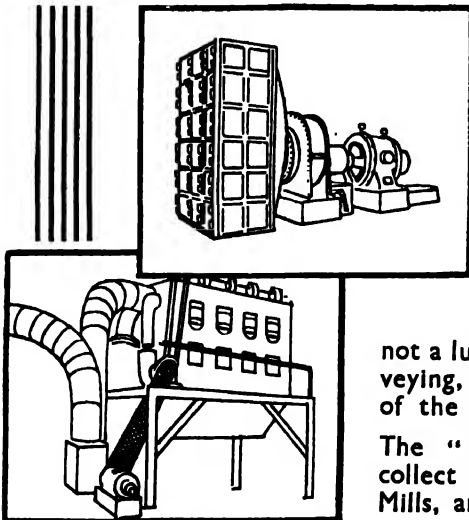
With the object of utilising waste As_2O_3 in Sweden experiments were made to determine its value as an admixture with Portland cement. A mixture of 30 parts As_2O_3 and 70 parts cement (Swedish standard class A), heated to about 200 deg. C. in a closed vessel, gave a cement of normal setting time with tensile and crushing strengths above those required of a Swedish class B cement and with much lower solubility in water than Portland cement. The effect of As_2O_3 without the heating process is to lower the setting time to about 5 minutes. The heating allows setting time to be adjusted at will, and it is brought back to normal, *i.e.*, about one hour for initial set. Crushing and tensile strengths varied with As_2O_3 content, first falling to a minimum at 10-15 per cent. As_2O_3 , and then increasing to a maximum at 30 per cent. As_2O_3 , at

which the values were lower than for pure Portland cement. Above 30 per cent. As_2O_3 the strength again sinks rapidly. As a 1:3 mortar the mixed cement gives strengths greater than those required of Swedish class B cement. The lime solubility of the mixed cement is a minimum with 30-40 per cent. As_2O_3 . Above this value the solution of lime increases somewhat while with the higher proportions of As_2O_3 there is also very considerable solution of As_2O_3 . The following comparison for 1:3 mortars will be found of interest.

	Tensile strength. (lb. per sq. in.).		Crushing strength.	
	7 Days.	28 Days.	7 Days.	28 Days.
Original class A cement ..	404	—	3,379	—
30 Parts As_2O_3 : 70 parts cement, heat treated at 170 deg. C.	273	401	2,639	4,007
Requirements for Class B cement mortar	200	285	2,000	2,850

The Kiln Problem in the Production of Fused Cements. E. SCHIRM. *Zement*, Vol. 20, p. 118, 1931.

The main difficulty in the manufacture of fused aluminous cement is due to the paste-like consistency of the mix before fusion occurs. Various types of kiln designed to overcome this, and to improve the heat economy of the process, are described.



There's MONEY in Cement Dust

Dust collection in Cement Factories is not a luxury but a necessity. In grinding, conveying, packing, etc., a considerable percentage of the production would be lost without it.

The "VISCO BETH" Dust Collector will collect at the source, increase output of Mills, and keep your factory clean.

Our years of experience are at your disposal.
Send for our new Booklet No. 312 on
MODERN DUST COLLECTION.

"VISCO"

ENGINEERING CO. LTD.
162 GROSVENOR ROAD, LONDON, S.W.1

Telephone: Victoria 6531/2,
Telegrams: "Ourtmit,
Churton, London."

**SPECIALISTS IN— Heating and Ventilating Plant,
Water Cooling Towers,
Sheet Metal Work, etc.**

Steel Balls and Cylpebs.

THE most important requirements of the user of forged grinding media (steel balls and cylpebs) are high resistance to wear and good grinding action. Further, the shape of the bodies must remain the same throughout their life in the mill. High resistance to wear is obtained by the use of steel with natural hardness, forged by a special process with suitable heat treatment so that the steel possesses a completely homogeneous structure throughout. It is claimed



by the producers of grinding media of naturally hard steel that they are superior to those obtaining resistance to wear, grinding action and freedom from brittleness by oil or water quenching. The resistance of the steel balls to wear may not be increased indefinitely. Its limit is defined by the wearing resistance of the mill lining plates. It is more economical to renew the grinding media with greater frequency than the mill lining.



HEATING & VENTILATING PLANTS

for
BUILDINGS

*Installation in
Glasgow Corporation
BUS GARAGE.*



DAVIDSON & CO., LTD., Sirocco Engineering Works, BELFAST.

Every geometrical shape occurring in nature has been investigated for grinding media, with the result that the sphere and the cylinder have proved the most efficient. An exception to this is afforded by the so-called triple-edged cylpebs, patented in Germany, which are claimed to be superior to other forms of cylpebs. Every melt of steel to be used for grinding media must be tested for chemical composition, brittleness, expansion, resistance to wear, Brinell hardness, homogeneity of structure (by means of etching and microscopic examination), and impact strength under a five ton falling hammer.

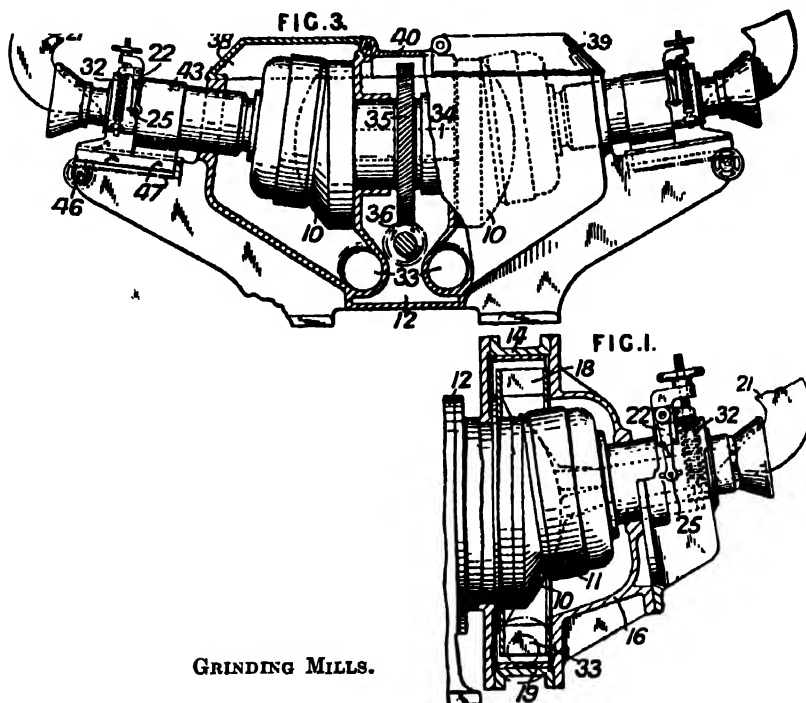
We are indebted for the foregoing notes to Klöckner-Werke, A.G., Osnabrück, Germany, manufacturers of grinding media

Recent Patent.

Grinding, Crushing, etc. Mills. DRYSDALE, H., 65, Highbury New Park, London. March 23, 1929. No. 330,989.

In a mill for grinding coal, etc., having concave and convex grinding elements mounted to rotate about axes inclined to one another, one of the elements (10), fig. 1, is mounted to rotate about a horizontal

mounted the disc (11), is hinged to the ring (14). A fan (18) is carried by the disc (10) and discharges the ground material, e.g., coal, through an outlet (33). The disc (11) is driven frictionally from the disc (10) and is provided with a hollow spindle through which the material is fed to the discs by a shoot (21). The spindle of the disc (11)



GRINDING MILLS.

axis and the other (11) has its axis inclined so that the periphery of one disc coincides with or approaches the periphery of the other disc. The disc (10) is mounted in a casing (12) in which is mounted the gearing for driving the disc. An annular ring (14), provided with a lining (19) is hinged to the casing (12), and a cover (16), in which is

is engaged by pins (25) on lever arms (22) under the control of a spring (32) by which the pressure between the discs is adjusted. In fig. 3 two convex discs (10) are mounted on a common spindle (34) driven by gear wheels (35), (36). The casing (12) is provided with hinged covers (38), (39), and a central cover (40) may be hinged to these

covers. A carrier (43), in which the spindle of the disc (11) is mounted, may slide on guideways, along which it is moved by a pinion (46) and rack (47) to adjust the relative position of the stones (10), (11) for coarse grinding. The material to be ground

is fed through the hollow spindles of the stones and the discharge is through ducts (33). These ducts may discharge into a common shoot or to separate discharging devices. Specifications 3718/82 and 16511/15 are referred to.

Notes from Abroad.

German Cement Amalgamation.

The Wicking'sche Portland Cement-u. Wasser Kalkwerke A.G. has amalgamated with the Portland-Cement-Fabrik-Dyckerhoff Sohne, G.m.b.H., to form the company Portland-Zementwerke Dyckerhoff-Wicking A.G., Mainz Amoneburg. The combined capital is 27,000,000 R.M., and the amalgamation embraces nearly 30 per cent. of internal German sales besides a large foreign market.

Swiss Cement Company Rearrangement.

The Portland-cement Werke Hansen, A.G., which passed out of the control of the Wicking'sche Portland Cement und Wasser Kalkwerke, A.G., into that of the Swiss Cement Syndicate, has reduced its share capital from 7,000,000 fr. to 1,000,000 fr., and will in future be only a holding company under the title of "Portland-Cement Werke Hansen, Holding-Gesellschaft."

Capital Increase of Roumanian Company.

The Fabrica de Ciment Kugler & Co. has increased its capital from 80,000,000 lei to 110,000,000 lei. It is proposed to reconstruct the Brasov works.

American Cement Contract.

The Marquette Cement Manufacturing Co. has secured a contract from the Government of Illinois to supply 1,200,000 barrels of cement for roads.

Russian Cement Industry.

It is reported that a special committee has been appointed by the U.S.S.R. to travel in England, Germany and America with authority to place orders for machinery for enlarging the Russian cement industry.

Book Review.

"**Rotier- und Schachtofen Portlandzement.**" By Joseph Keith, Czechoslovakia. (Pp. 28.)

This book is a summary of results of tests on ninety-three samples of Portland cement examined during the years 1922 to 1929, inclusive. The figures are tabulated and illustrated by graphs in such a way that the average qualities of rotary kiln and shaft kiln cements are shown for each of the years under review. As might be expected, rotary kiln cement is consistently of higher quality than shaft kiln cement. Similar sets of figures are given for twenty-six rapid-hardening cements examined during the years 1926 to 1929, and again the superiority of rotary kiln cement is established. The methods of testing are not described, and it is therefore impossible to compare the strength of these Czechoslovakian cements with British cements, but the average residue on the sieve of 4900 meshes per sq. cm. (approx. 180 mesh) at 4.88 per cent. is very much greater than that customary in England for rapid-hardening cement.



L'influence de la température de mouture du ciment sur son temps de prise.

par K. KOYANAGI.

DANS un article intitulé "L'influence de la température de mouture du ciment sur son temps de prise," paru dans le numéro d'Avril 1931 de cette revue, M. V. M. Anzlovar a fait connaître son point de vue sur la prise rapide du ciment, moulu à une température élevée; il s'exprime comme suit: "Comme l'anhydrite se dissout plus facilement dans l'eau que les hydrates, les ions de Ca et de SO_4 n'arrivent que trop tardivement à la concentration voulue pour empêcher l'hydrolyse; le début de la prise se manifeste après un temps très court et l'on obtient un ciment à prise rapide. Or il est difficile de mettre en doute que la mouture ne favorise la formation de cette substance, en raison de l'élévation de température qui accompagne cette opération.

M. Anzlovar semble confondre le plâtre pour revêtements (sulfate anhydre de solubilité réduite), et le sulfate anhydre soluble. Chauffé à 150-200°, le gypse à deux molécules d'eau subit une transformation partielle ou totale en sulfate anhydre soluble, qui est beaucoup plus soluble que le sulfate à deux molécules d'eau; c'est ce qui ressort des expériences que j'ai faites sur la solubilité des diverses variétés de gypse, et dont voici les résultats:

Variété de gypse.	Teneur centésimale en SO_3	
	Mesurée.	Calculée.
(1) Hydrate à deux molécules ..	45.66	—
(2) Hydrate à une demi-molécule (hydrate à deux molécules chauffé 30 minutes à 130°) ..		
(3) Sulfate anhydre (sulfate à deux molécules chauffé 30 minutes à 200°).. ..		
(4) Sulfate anhydre de solubilité réduite (sulfate à deux molé- cules chauffé 2 heures à 1,100°)..	57.63	57.52
(1263)		

Prenant cinq grammes de chacune de ces substances, on agite pendant 15, 30, et 60 minutes avec 300 cm³ d'eau, et on filtre rapidement. On prend ensuite 50 cm³ de filtrat clair, on dose SO³, et on en déduit la quantité de SO³Ca par le calcul. La figure 1 (page 1222) donne les courbes de solubilité de ces diverses substances.

Il n'y a aucun doute que le gypse contenu dans le ciment ne se transforme partiellement en sulfate anhydre soluble; ainsi que le montre la figure 1, cette dernière substance est beaucoup plus soluble que l'hydrate à deux molécules, et elle résulte d'une mouture faite à température élevée. Les faits sont ainsi en contradiction avec l'opinion de M. Anzlovar.

M. Anzlovar fait, en outre, un examen critique de l'article que j'ai publié sur le même sujet dans " Zement " (No. 20, 1930), en disant ce qui suit :

(1) M. Koyanagi affirme que, quel que soit le ciment, la proportion de gypse la plus favorable correspond à une teneur en SO³ comprise entre 0,9 et 1,2%.

(2) Cette remarque est en contradiction directe avec ce que le même auteur a fréquemment constaté, tant au laboratoire qu'à l'usine, qu'en opérant leur mouture avec la quantité de gypse indiquée ci-dessus, on est absolument certain d'obtenir des ciments dont le temps de prise est normal s'ils sont employés fraîchement moulus, mais qui se transforment absolument tous en ciments à prise rapide deux mois plus tard.

A ces critiques, ma réponse est la suivante :

(1) Dans l'article en question, j'ai nettement spécifié que pour chaque ciment, étant donnée sa composition chimique particulière, il faut ajouter une quantité de gypse bien définie pour que le temps de prise atteigne son maximum. J'ai donné, en outre, la composition de mon ciment, qui est riche en silice et en chaux, et pauvre en alumine.

(2) C'est un fait bien connu que certains ciments dont le temps de prise est normal lorsqu'ils sont fraîchement moulus se transforment en ciments à prise ultra-rapide après quelques semaines de conservation ou de vieillissement. Malgré les nombreuses recherches dont ce phénomène a été l'objet, on n'a pu encore en mettre en évidence la cause profonde. En Allemagne, on qualifie ces ciments de " Umschlaeger " (brusques); le ciment auquel M. Anzlovar fait allusion pourrait peut-être appartenir à cette catégorie de ciments.

Au sujet des annonces.

Le texte de l'annonce doit parvenir à cet office au plus tard le 25 du mois précédent celui de la parution. Dans le cas où un nouveau texte ne serait pas parvenu à cette date, les éditeurs se réservent le droit de reproduire le texte précédent.

Dans le cas d'annonces devant être imprimées en plus d'une seule langue, on doit fournir soi-même les traductions. Si on le désire, les éditeurs se chargent de ce travail de traduction, mais il est entendu qu'ils ne pourraient assumer aucune responsabilité en ce qui concerne l'exactitude de la traduction.

Etude comparative de l'industrie du ciment Portland, aux Etats-Unis, au Canada et en Angleterre.—IX.

Par HAL GUTTERIDGE.

Conclusion

CET article est un résumé des points essentiels exposés en détail dans les précédents articles, qui relataient les procédés les plus modernes de l'industrie du ciment Portland, appliqués aux Etats-Unis, au Canada, et en Angleterre.

Matières premières.—Aux Etats-Unis et au Canada, les matières premières sont généralement dures, et il est nécessaire d'abattre la roche à la poudre, alors qu'en Angleterre, où les matières premières sont généralement tendres, on n'est que rarement astreint à employer la poudre, les matières étant susceptibles d'être extraites au moyen d'excavateurs mécaniques.

Pour la réduction des matières dures, la méthode la plus récente consiste à placer le broyeur primaire au dessus du broyeur secondaire, en disposant entre eux un tamis qui sépare les matières déjà suffisamment fines, auxquelles on fait contourner le broyeur secondaire; on réalise ainsi l'acheminement des matières par gravité, au bénéfice des frais d'exploitation. Cette disposition implique un bâtiment plus robuste que si l'on appliquait la deuxième solution, qui consiste à placer les deux broyeurs de niveau, mais la majoration des frais de premier établissement est plus que compensée par la diminution des dépenses d'exploitation. Le séparateur installé entre les broyeurs présente l'avantage d'économiser une partie de l'énergie qu'absorbe le broyeur secondaire, dont les dimensions sont également plus petites, et ce, par suite de la plus faible quantité de matières à broyer, et du régime de son alimentation, qui, d'intermittente, devient régulière.

Avec les matières premières tendres employées en Angleterre, le concassage ne s'impose généralement pas, ces matières pouvant être réduites à la finesse requise en les traitant au broyeur humide. Les silex, s'il s'en trouve, sont extraits à intervalles réguliers par une trappe aménagée au fond du broyeur; les particules sur-dimensionnées acceptées par le tamis du broyeur sont séparées par centrifugation, et renvoyées au broyeur humide pour y subir une nouvelle fragmentation.

Il s'ensuit que, sauf dans de rares cas, en raison des propriétés physiques différentes des matières employées, les méthodes appliquées aux Etats-Unis et au Canada pour leur réduction ne sont pas applicables en Angleterre, et réciproquement.

Parallèle entre le procédé humide et le procédé sec.—Jusqu'à ces dernières années, la plus grande partie du ciment fabriqué aux Etats-Unis l'a été par le procédé sec, qui avait été adopté à l'origine à cause de la " roche à ciment," à laquelle il convient tout particulièrement, et qui constituait pratiquement à l'époque la base de tous les ciments. Lorsque les affaires de ciment ont pris plus d'ampleur, on a appliqué le procédé sec aux autres matières premières, mais il a progressivement perdu son importance en faveur du procédé humide, qui est actuellement adopté par la plupart des usines. Il n'y aurait aucun avantage à appliquer le procédé sec en Angleterre, où les matières premières

ne s'y prêtent pas, car les calcaires, marnes et argiles ont une teneur en eau relativement élevée, et, à ce seul point de vue, le séchage entraînerait des frais si élevés que le procédé sec ne serait pas économique.

D'autre part, le procédé humide peut s'appliquer à toutes les matières, qu'elles soient dures ou tendres, car la teneur en eau y est sans conséquence. La principale raison de l'adoption du procédé humide est qu'il permet de remédier plus aisément aux variations de la composition des matières premières; en d'autres termes, avec le procédé humide, on obtient un mélange final, qui se présente dans des conditions supérieures à celles obtenues avec le procédé sec. Cet avantage est de toute première importance, et compense au delà l'avantage léger définitivement acquis au procédé sec, sa faible consommation de combustible lorsque les matières sont sèches.

Four.—D'une façon générale, aux Etats-Unis, on tend à limiter la longueur des fours rotatifs et à porter au maximum la température des gaz brûlés, ou même à l'augmenter artificiellement, pour pouvoir les utiliser au chauffage des chaudières à chaleurs perdues. Au Canada et en Angleterre, on tend au contraire à allonger les fours, pour que toute la chaleur utilisable des gaz soit cédée dans le four même aux matières premières enfournées, en laissant perdre la chaleur à basse température. L'une et l'autre solution se justifient économiquement suivant les circonstances. Lorsque le combustible est bon marché, que le courant venant du dehors est cher, que les fours sont du type court et exploités suivant le procédé sec, toutes les conditions sont réunies pour que l'installation de chaudières à chaleurs perdues se présente sous le jour le plus favorable. Comme en Angleterre il n'existe pas d'usines appliquant le procédé sec, l'une de ces conditions n'y est jamais remplie; comme d'autre part le prix du courant n'est pas excessif, la tendance est d'installer des fours du type long, avec lesquels la quantité de chaleur emportée par les gaz à la sortie est si faible qu'il n'y a plus économie à les canaliser pour en tirer parti. La longueur maximum des fours auxquels il est annexé des chaudières à chaleurs perdues est de 53 m 50, alors qu'en Angleterre et au Canada la longueur des fours est généralement comprise entre 75 et 125 m.

Aux Etats-Unis, dans les usines exploitées suivant le procédé humide, on voit appliquer une méthode ayant pour objet d'augmenter le rendement du four, qui consiste à employer un filtre pour extraire de la boue, approximativement la moitié de l'eau qu'elle contient, avant son enfournement; le four n'a plus ainsi à expulser l'eau déjà extraite, ce qui le soulage dans son travail, et augmente son rendement. Avec les matières premières tendres et le procédé humide tels qu'ils sont employés en Angleterre, il semble qu'il n'y ait aucune raison pour que le filtrage ne soit également appliqué avec succès, en particulier lorsque les carrières sont à quelque distance de l'usine, et qu'il faut diluer la boue pour en faciliter le pompage.

L'augmentation du rendement thermique du four peut être réalisée par une autre méthode, le système d'enfournement à "pulvérisation." Avec ce système, la boue présente le maximum de surface aux gaz qui circulent dans le four, et les gaz cèdent leur chaleur à la boue dans les conditions les plus favorables. Dans ces conditions, les gaz brûlés ont une température très basse, de l'ordre de 95° pour l'une des cimenteries anglaises.

Pour pulvériser le charbon destiné au chauffage des fours, le système le plus en faveur aux Etats-Unis est le système "central," alors qu'en Angleterre le système "individuel" est d'application générale. Avec ce dernier système, la réduction du charbon s'opère en une fois au moyen d'une seule machine,

installée sur la plate-forme du cuiseur; le charbon, une fois pulvérisé, ne reste jamais en attente, et arrive directement au four au sortir de la machine. La consommation d'énergie est plus faible qu'avec le système central, et l'encombrement n'est qu'une petite fraction de celui que comporte ce dernier. Le système individuel permet d'ajuster plus rapidement et avec plus de précision la consommation aux besoins, ce qui devrait suffire pour en favoriser l'application aux Etats-Unis.

Le perfectionnement mécanique le plus important qui ait été apporté au four est la création du four avec refroidisseur combiné, dit "four à refroidisseur multitubulaire," installé pour la première fois en Angleterre en 1922. Cette disposition a été adoptée dans les trois pays considérés, en raison des avantages bien nets qu'elle présente par rapport au four avec refroidisseur séparé. Quoique de moindre importance, on peut signaler l'introduction aux Etats-Unis des roulements à rouleaux dans l'équipement des fours, pour remplacer les paliers lisses habituels. La conduite du four peut être assurée ainsi par un moteur plus faible, qui peut être en outre d'un type moins onéreux, n'ayant pas à vaincre au démarrage du four le couple résistant élevé dû au frottement statique.

Broyage.—Le progrès récent le plus important qui ait été apporté en cimenterie au broyage est le broyage en "circuit fermé." Dans le broyage en "circuit ouvert," quel que soit leur degré de finesse, la totalité des matières passe successivement par tous les étages de l'équipement, à une allure que l'on a réglée une fois pour toutes d'après le temps qu'il faut pour réduire les plus grosses particules à une dimension, dont le maximum seul est imposé. Il en résulte que les matières sont broyées en grande partie sans nécessité à un degré de finesse supérieur à celui requis, et ces matières ultra-fines exercent par leur présence un effet "amortisseur," d'où diminution du rendement des corps broyeurs, consommation inutile d'énergie, et arrivée restreinte des matières. Avec la mouture en "circuit fermé," toutes les matières de dimension inférieure à un degré de finesse prédéterminé sont extraites en un ou plusieurs points de l'équipement de broyage, d'où suppression de l'effet "amortisseur" et de la production inutile de particules ultra-fines. Il en résulte que la consommation d'énergie est plus faible pour le broyage d'une quantité de matières donnée, à moins d'augmenter le débit, si la dépense d'énergie doit rester la même.

Jusqu'à ce jour, tant dans le procédé humide que dans le procédé sec, c'est surtout aux Etats-Unis que le broyage en circuit fermé a été employé pour le broyage des matières premières, application qui n'a en Angleterre qu'un domaine très limité, car la plus grande partie des matières y sont tendres, et ne nécessitent aucun broyage.

Les précédents articles de cette même série ont paru dans les numéros de Novembre 1930, Janvier, Février, Avril, Mai, Juillet, Septembre et Octobre 1931.

Avis.

Tous les articles publiés en quelque langue que ce soit dans CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, sont rigoureusement de propriété littéraire, et ne peuvent être reproduits dans d'autres journaux, ou sous forme de catalogues, sans l'autorisation des propriétaires: Concrete Publications Limited, 20, Dartmouth Street, Westminster, Londres, S.W.1, Angleterre.

La mouture rationnelle du ciment.

Par H. RICHARZ.

DANS toutes les cimenteries, on s'efforce de régler les moulins à ciment, pour obtenir avec le minimum de dépense d'énergie la plus grande quantité de ciment, et moulu aussi fin que possible. Le clinker bien cuit est certainement la matière la plus difficile à moudre, parmi celles que cette opération concerne dans la fabrication du ciment, et c'est la raison pour laquelle la mouture rationnelle du ciment joue un rôle si important dans la gestion d'une affaire. Les considérations sur la mouture du ciment qui vont suivre s'appliquent aussi dans une certaine mesure aux autres matières, lorsque leur réduction s'opère au tube broyeur; je bornerai toutefois mon exposé à la mouture au tube broyeur sans séparation par l'air, et je m'abstiendrai d'émettre une opinion, favorable ou non, sur la mouture du ciment avec séparation par l'air, quoique cette question soit actuellement très discutée dans la littérature technique.

Je ne m'étendrai pas outre mesure sur la détermination de la longueur et du diamètre des broyeurs pour ciment; pour les dimensions du broyeur, on se base généralement sur la longue expérience des constructeurs, et l'on se fie à leurs conseils; ils donnent du reste certaines garanties, en ce qui concerne la production. La question que je me propose d'élucider ici, c'est de savoir comment, en marche continue, on peut obtenir le maximum de production avec un broyeur donné. C'est pourquoi nous rechercherons uniquement à quelles conditions est subordonnée cette production maximum, et nous signalerons en passant les erreurs que l'on peut commettre, risquant ainsi d'orienter les opérations de réglage dans une mauvaise voie.

Pour la mise en route d'un broyeur, on commence par le garnir de corps broyeurs; s'il s'agit par exemple d'un broyeur à trois compartiments, on charge le premier d'entre eux de boulets de divers diamètres, compris entre 90 et 50 mm, le deuxième de boulets de 50 à 30 mm, et le troisième, soit de silex, soit de petits corps broyeurs en acier, ou encore des deux ensemble. Pour le troisième compartiment, le choix des corps broyeurs, silex, corps broyeurs en acier, ou les deux à la fois, dépend de la force motrice dont on dispose. La dimension des corps broyeurs du premier compartiment dépend du degré de fragmentation préparatoire du clinker; je reviendrai plus loin sur ce point.

Pour apprécier la production relative des divers compartiments, on procède par tamisage analytique; dans ce but, on opère des prélèvements à l'entrée du second compartiment, ainsi qu'à l'entrée et à la sortie du troisième, et on détermine les refus sur tamis de 4900 et 900 mailles au centimètre carré. On connaît ainsi le rendement des divers compartiments, et, en se basant sur les refus obtenus, ainsi que les observations que l'on est amené à faire pendant la durée des essais, on arrive à régler la charge de chaque compartiment, de manière à avoir le maximum de production dans chacun d'eux. Il ne faut pourtant pas s'attendre à ce que cette analyse granulométrique donne plus qu'elle ne peut donner, et il faut en utiliser les résultats avec une grande circonspection, car cette méthode est grossière; souvent on ne tient pas compte suffisamment de ses imperfections, et l'on commet ainsi des erreurs qui se traduisent par un réglage defectueux du broyeur. Dans le tableau numérique ci-dessous, on a reproduit les données fournies au tamisage analytique par un broyeur à trois compartiments, avec enveloppe tamisante entre le premier et le second compartiment; ces épreuves ont été faites à deux époques différentes, entre lesquelles aucune modification n'avait été faite. Les colonnes 1 et 2 donnent la production et le refus global du tamisage pour la période à l'issue de laquelle on a procédé à l'analyse granulométrique. Les colonnes 3, 4, et 5, donnent les refus du tamisage sur tamis de 4900 mailles au centimètre carré.

donnés par les échantillons prélevés à l'entrée du deuxième compartiment, ainsi qu'à l'entrée et à la sortie du troisième. Les colonnes 6, 7, et 8, donnent la production des divers compartiments, exprimée en fraction centésimale. Les chiffres ont été calculés par la méthode indiquée dans les exemples ci-dessous, qui concernent les refus du premier tamisage analytique.

Compartiment I	...	...	$(100 - 51) \times 100$	= 56,8
			100 - 13,8	
Compartiment II	...	...	$(51 - 32,4) \times 100$	= 21,6
			100 - 13,8	
Compartiment III	...	...	$(32,4 - 13,8) \times 100$	= 21,6
			100 - 13,8	

TABLEAU NUMÉRIQUE.

Production du broyeur Kg/ch/h.	Refus 4900.	Tamisage analytique.			Production % Compartiments		
		Entrée II.	Entrée III.	Sortie III.	I.	II.	III.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
24,6	11,7	51,0	32,4	13,8	56,8	21,6	21,6
25,2	12,4	64,0	40,5	13,7	41,5	27,1	31,4
25,9	12,7	57,4	39,0	13,4	49,2	21,2	29,6
26,2	10,6	54,4	40,4	12,0	51,8	15,9	32,3
28,0	12,0	61,0	43,0	18,0	47,6	21,9	30,5
26,3	11,8	70,0	47,0	17,0	36,1	27,7	36,2
26,0	10,0	57,4	41,5	14,0	49,5	18,5	32,0
26,4	11,5	56,0	29,6	5,2	46,4	27,8	25,8
27,1	13,3	53,6	37,0	12,8	53,2	19,0	27,8

De cette récapitulation, et particulièrement des chiffres donnant les productions relatives des divers compartiments, il ressort nettement que les résultats fournis par le tamisage analytique sont très variables. J'estime par suite qu'il est de nécessité absolue de ne jamais utiliser, à fin de modifications éventuelles, les résultats d'un seul tamisage analytique, mais de toujours se baser, pour les décisions à prendre, sur la moyenne, fournie par plusieurs tamisages analytiques. Rappelons en outre que le broyeur doit être mis à l'arrêt au moment même où l'on suspend l'arrivée des matières, pour que le tamisage analytique fournisse des données correctes.

Au moment du prélèvement des échantillons en vue du tamisage analytique, la finesse finale des matières en cours de broyage n'est pas toujours la même, et il arrivera souvent que l'on obtienne pour la finesse dans les divers compartiments des valeurs non comparables, de sorte que l'on éprouve des difficultés pour apprécier les résultats des tamisages analytiques successifs. C'est pourquoi je préconise d'adopter dans tous les cas, pour les chiffres fournis par le tamisage analytique, la méthode de calcul que j'ai exposée en commentant le tableau numérique ci-dessus. On obtient ainsi des chiffres toujours comparables pour la production relative des divers compartiments.

S'il arrive ainsi que l'on chiffre d'une manière erronée les tamisages analytiques successifs, on est souvent aussi induit en erreur par la cadence trop précipitée des modifications opérées. Dans de nombreux cas, pour le réglage d'un moulin à ciment, on prend presque quotidiennement de nouvelles décisions, et, avec cette méthode de travail précipitée, il est presque impossible de se rendre compte chaque fois des conditions de fonctionnement; en se basant sur les données erronées ainsi recueillies, on risque de s'engager dans une voie fautive. Il est du reste tout naturel que plus la méthode d'investigation est grossière, plus il faille réitérer les épreuves élémentaires pour pouvoir émettre une opinion indiscutable.

Pour apprécier la production des broyeurs, la détermination de la production horaire ne paraît pas suffisante. Le travail d'un broyeur est en relation intime avec l'énergie à dépenser pour le dit travail, et il n'est pas rare que l'on ait une conception fautive de la valeur numérique de ce rapport. Si l'on constate qu'au commencement de l'essai, le moteur ne fonctionne pas à pleine charge, on peut améliorer la production horaire en augmentant la charge du broyeur; dans ces nouvelles conditions, la consommation d'énergie du broyeur augmente également. Comme la question n'est pas tant que la nouvelle production du broyeur soit proportionnée à la nouvelle consommation d'énergie, mais comme l'on cherche surtout, par des modifications adéquates, à obtenir une production en augmentation relative, il faut déterminer la production horaire en Kg/ch; ce chiffre seul permet de se faire une opinion exacte, et son calcul se fait de la manière suivante. Soient :

d = coefficient, afférent au courant triphasé = 1,732.

$c = \cos \phi$ (pris égal à 0,89).

m = rendement du moteur (pris égal à 92%).

g = rendement de la commande (pris égal à 98%).

f = coefficient pour la transformation des kW en ch = 1,36.

V = volts.

A = ampères.

Le nombre des chevaux-vapeur transmis à l'arbre du broyeur est égal à

$$d \times c \times m \times g \times f \times \frac{V}{1000} \times A, \text{ ou}$$

$$1,732 \times 0,89 \times 0,92 \times 0,98 \times 1,36 \times \frac{V}{1000} \times A$$

et la production horaire en Kg/ch est alors égale à

$$\frac{\text{Production horaire}}{\text{ch transmis à l'arbre du broyeur}}$$

Il est recommandé de relever sur le voltmètre la tension moyenne vraie, et d'en reporter la valeur dans la formule, car le réseau ne fonctionne pas toujours à la tension prévue.

En calculant ainsi la production horaire en Kg/ch, on trouve souvent, en réalité, et contrairement à toute attente, que le réglage n'a fait aucun progrès, car la production n'a pas augmenté, si l'on tient compte du complément d'énergie mis en jeu.

Après ces considérations générales, nous nous occuperons tout d'abord de la charge du broyeur. Dans la grande majorité des cas, les matières arrivent au broyeur à ciment dans un état de fragmentation assez poussé, et la charge en boulets du broyeur doit naturellement être adaptée à la grosseur des matières à broyer. Le premier compartiment ne doit pas avoir un trop grand nombre de gros boulets; un quart ou un tiers de la charge consistera en gros boulets d'acier d'environ 90 mm de diamètre, et cette quantité est suffisante pour assurer l'énergie percutante nécessaire. Comme ce compartiment doit également faire une grande partie du travail de mouture fine, dans la plupart des cas on pourra sans inconvénient employer pour le complément de la charge des boulets de 50 ou même 40 mm de diamètre. Même pour la charge initiale, on voit que les proportions des boulets des différents diamètres doivent être étudiées avec soin; ultérieurement, il suffit d'ajouter des boulets de 80 à 90 mm de diamètre, les petits boulets se trouvant toujours en quantité voulue par suite de l'usure des grands. Par la suite, il faut évidemment veiller à ce que la proportion des boulets par trop petits et des morceaux de fer ne devienne pas trop forte, car ces éléments ne sont pas capables de participer utilement à la

réduction des grosses sablottes; tout au contraire, ils nuisent au travail de broyage et consomment une énergie inutile, et il faut les enlever du compartiment. Il est évident que dans les compartiments suivants, les corps broyeurs sont de plus en plus petits, pour que leur dimension soit en rapport avec celle des sablottes, elles-mêmes de plus en plus fines; ce qui a été dit pour le premier compartiment s'applique également ici. On laissera les corps broyeurs s'user jusqu'à une grosseur déterminée, mais dès que la production des broyeurs est en régression assez accentuée, on vérifiera si la charge ne comporte pas une trop grande proportion d'éléments inactifs, pour les enlever sans délai si besoin est. L'usure des corps broyeurs tourne souvent au bénéfice de la production, qui peut en être augmentée dans une proportion appréciable. J'ai souvent constaté une augmentation de la production horaire, évaluée en Kg/ch, sans qu'il y ait eu aucune modification soit au broyeur, soit dans la consistance des matières, et cette amélioration ne pouvait être imputée qu'à l'usure et au rodage des corps broyeurs, grâce auxquels le frottement se faisait dans des conditions bien meilleures que lorsqu'ils étaient encore sphériques. Après addition à la charge de nouveaux corps broyeurs, on constate souvent que la consommation d'énergie augmente, alors que le débit du broyeur reste stationnaire, ou se trouve même en régression; ce n'est qu'après un certain temps que la présence des boulets d'appoint se traduit par une augmentation du débit. Cette circonstance confirme de nouveau, que la production d'un broyeur augmente lorsque les boulets d'appoint ont pris la dimension appropriée à la charge existante.

Pour décider si le compartiment finisseur du broyeur doit être garni de silex, ou d'acier sous forme de cubes, de boulets, ou de Cylpebs, on se base sur les dimensions du broyeur, et sur la force motrice disponible. Le travail rationnel d'un broyeur dépend de cette condition fondamentale, à ne jamais négliger, que la charge ait une hauteur déterminée. En raison de leur poids spécifique plus faible, à poids égal, les silex occupent un volume plus grand que les corps broyeurs en acier, et c'est la raison pour laquelle on est souvent contraint de les employer pour le compartiment finisseur; tel est toujours le cas, lorsque l'on ne dispose pas d'une force motrice suffisante pour actionner le broyeur, avec une charge d'acier de la hauteur voulue. En outre, également à poids égal, les silex accompagnent le tambour dans le sens ascendant moins longtemps que les corps broyeurs en acier, et par suite une tonne de silex absorbe une force motrice moindre qu'une tonne de corps broyeurs en acier. Il s'ensuit de plus qu'avec l'énergie dont on dispose, l'emploi de silex permettra d'opérer avec une charge plus lourde que s'il s'agissait de corps en acier; réciproquement, si l'on veut remplacer les silex par des corps en acier, on ne peut en employer le même poids, sinon le moteur du broyeur travaillerait en surcharge; en raison de la faible hauteur de la charge d'acier, cette modification se traduira par une forte diminution du débit. L'emploi exclusif de corps broyeurs en acier dans le compartiment finisseur ne peut par suite être envisagé, que si le moteur est suffisamment puissant pour actionner le broyeur ainsi garni, avec une charge d'acier de la hauteur requise. Il va de soi qu'il faut tenir compte de cette donnée lors de la construction du broyeur, et veiller que les fondations aient la solidité voulue.

On peut bien penser que si la charge du compartiment finisseur est constituée uniquement par des corps en acier, la mouture est très fine, et qu'ainsi, même si on opère sur des ciments à haute résistance, le broyeur fonctionne dans de bonnes conditions de débit. En dehors des cas extrêmes, où la force motrice dont on dispose est, soit faible, soit élevée, il est souvent judicieux d'appliquer la solution intermédiaire, qui consiste à ajouter à la charge de silex des corps

en acier, en proportion convenable. L'expérience que j'ai acquise à ce jour en la matière ne me permet pas de dire si cet artifice améliore toujours la production du broyeur.

Il ne suffit pas de s'appliquer uniquement à donner à chaque compartiment la charge qui lui convient, il faut tenir compte également de la capacité de débit qu'offrent au passage de la matière à broyer les diaphragmes intermédiaires, et celui d'extrémité. C'est cette capacité de débit qui donne aux divers compartiments la possibilité de travailler à leur pleine capacité de production, et, si l'un des compartiments participait dans une proportion insuffisante au broyage, et n'était pas utilisé comme il convient, il aurait une répercussion défavorable sur la production globale du broyeur. Rien ne dit en outre que les jours du diaphragme, que l'appareil comporte par construction, soient tous dégagés en permanence; cette remarque s'applique particulièrement aux appareils dans lesquels les jours s'étendent jusqu'à la périphérie des diaphragmes intermédiaires et d'extrémité. Dans ce cas, il peut y avoir grand intérêt à obturer en partie les fentes par des plaquettes rivées, surtout si le moteur est trop faible pour permettre au broyeur de travailler à pleine puissance. Le critérium de la bonne utilisation de la capacité de broyage des divers compartiments est le volume occupé par les matières, par rapport à celui de la charge; les matières et les corps broyeurs formant la charge doivent être au moins à l'affleurement. Les matières peuvent du reste sans inconvénient former une couche de plusieurs centimètres au dessus de la charge, mais il ne faut jamais que la surface soit formée par les boulets, polis par le frottement et par suite très visibles. Si ce cas se présente, il faut augmenter la charge de corps broyeurs; si le moteur travaillait déjà à pleine charge, il y aurait lieu de freiner la sortie des matières du compartiment considéré. Ces observations concernent également le compartiment d'extrémité, pour lequel on est assez fréquemment amené à opérer le freinage de la sortie des matières en disposant des tôles devant les fentes de la périphérie, car ce procédé est le seul possible avec un diaphragme de sortie qui comporte des jours jusqu'au bord extérieur; la capacité de mouture du compartiment finisseur se trouve ainsi complètement utilisée. Lorsqu'aucun obstacle ne freine la sortie, les matières ont tendance à sortir dans un état trop grossier, de sorte que l'opérateur est contraint de ralentir l'arrivée des matières, ce qui nuit fortement à la production du broyeur.

Lorsque les broyeurs comportent une enveloppe perforée entre le premier et le deuxième compartiment, si l'on a décidé de faire travailler davantage le premier compartiment, il n'est pas judicieux de réduire cette surface de tamisage; on obtient, en moins de temps, de meilleurs résultats, en diminuant la surface offerte par le diaphragme au passage des matières.

Il est encore un point d'une très grande importance pour donner au broyeur sa production maximum; il s'agit de la bonne aération du broyeur. L'équipement de captation des poussières, installé à l'extrémité du broyeur, doit comporter un ventilateur largement dimensionné, grâce à l'aspiration duquel un fort courant d'air traverse constamment le broyeur; dans le même but, il faut que l'orifice d'entrée du broyeur et les ouvertures centrales des diaphragmes aient une importance suffisante; les ouvertures des diaphragmes doivent avoir environ 200 mm de diamètre. Ce violent courant d'air emporte toute l'humidité qui se dégage dans le broyeur, et une fraction considérable des granules de ciment, parmi les plus fins, se trouve ainsi acheminée en état de suspension sur l'équipement de filtrage, ce qui permet à la charge d'opérer en atmosphère sèche son travail de réduction, ainsi porté au maximum. On est étonné de voir les avantages que tirent les broyeurs d'une bonne aération.

En appliquant les directives exposées ci-dessus, on parviendra facilement à faire travailler les broyeurs au maximum de leur capacité de production.

Une cimenterie moderne à four vertical à grande production, en Tchéco-Slovaquie.

par F. F. TIPPMANN.

La Compagnie Andreas, de Munster, en Westphalie,* a créé un four vertical à grande production, qui donne un matériau ayant la même qualité que le ciment à haute résistance provenant des fours rotatifs, et dans lequel se trouve supprimé le collage des matières au garnissage; avec une très faible consommation de combustible, ce four produit par jour de 120 à 150 tonnes de clinker, et la cuisson s'y opère d'une façon complètement automatique. La Andreas Maschinenbau, S.A.R.L., a monté ces deux dernières années plus de 70 de ces fours dans toutes les parties de l'Europe, de nombreuses usines à fours rotatifs ayant adopté la fabrication parallèle au four rotatif et au four vertical, en vue de satisfaire dans de bonnes conditions à toutes les fluctuations de la demande. Les petites cimenteries ne comportant qu'un seul four vertical à grande rendement, d'une production moyenne journalière de 120 tonnes, sont d'une exploitation particulièrement avantageuse, si du moins leur emplacement est judicieusement choisi de manière que la totalité de leur production s'écoule régulièrement pendant toute l'année.

Dans le four vertical à grand rendement, système Andreas, on a supprimé le collage des matières au garnissage, qui se produit pour les fours verticaux d'ancien modèle impliquant le briquetage des matières premières, en préparant avec ces dernières un mélange farine crue-combustible que l'on enfourne à l'état humide, sans briquetage, ni emploi de moules. L'exploitation s'en trouve simplifiée, car l'atelier de briquetage devient superflu. La quantité et la qualité du clinker sont obtenues simultanément par l'application au four vertical du vieux principe qui gouverne la marche des fours rotatifs: " cuisson rapide, et refroidissement rapide." Sur toute la circonférence du four vertical, et à différentes hauteurs judicieusement choisies, se trouvent des boîtes à vent pour l'air secondaire, par lesquelles arrive dans le four l'air requis par la combustion et le refroidissement, aux points où son action est la plus efficace pour le but pratique envisagé.

La zone de scorification du four étant resserrée, la cuisson se fait rapidement, et l'arrivée de l'air secondaire, immédiatement sous la zone de scorification, produit un refroidissement rapide. La colonne de matières traverse en outre très rapidement le four, ainsi que l'exige l'importance de la production.

Le processus de la cuisson joue un rôle considérable dans la texture minéralogique du clinker, et ce dernier présente de telles analogies avec le clinker de four rotatif, qu'il est rare que l'on puisse les différencier. La figure 2 (page 1232) permet de comparer l'aspect du clinker Andreas (à gauche) et du clinker obtenu avec les fours verticaux d'ancien modèle, nécessitant le briquetage (à droite); ces deux clinkers ont été produits dans la même usine, à partir des mêmes matières premières. La texture spongieuse et poreuse, d'une couleur plus foncée, et la cuisson plus vive de l'un des clinkers, forment un contraste frappant avec le deuxième clinker, produit par le four d'ancien modèle, d'une couleur moins accentuée, refroidi lentement, plus compact, et d'une mouture plus difficile.

L'étude de la microtexture montre quelle répercussion la cuisson et le refroidissement à vive allure exercent sur les propriétés du clinker. Les figures 3a, 3b, 4a, et 4b (page 1232) représentent les sections minces des clinkers de la figure 2, au grossissement de 440, entre Nicols parallèles et croisés. Si

* Cette firme a fusionné ces temps derniers pour le matériel de cimenterie avec la Société Krupp-Grusonwerk, à Magdebourg-Buckau.

l'on prend comme terme de comparaison le clinker refroidi lentement, produit par le four rotatif de l'ancien type, les photomicrographies font ressortir la texture incontestablement plus homogène et d'une granulation plus fine des substances minérales scorifiées du clinker obtenu avec le nouveau procédé, ainsi qu'une plus grande richesse en constituants hydrauliquement actifs. La microtexture du nouveau clinker est très rapprochée de celle du clinker de four rotatif, ce à quoi on doit vraisemblablement attribuer l'analogie de leurs propriétés. Ajoutons qu'à l'heure actuelle, en Suisse, un four vertical Andreas produit un ciment non inférieur aux ciments de four rotatif suisses, dont la réputation est faite, ce qui montre bien l'importance de l'innovation réalisée.

La qualité et la résistance du matériau produit par ce four, ainsi que ses propriétés invariables, doivent être également attribuées à la composition uniforme et à l'homogénéité du mélange farine crue-combustible que l'on enfourne. Ce résultat est obtenu par l'emploi d'une balance automatique, à embrayage électrique, spécialement construite pour cet usage. La figure 5 (page 1233) montre la disposition générale d'un four vertical Andreas, et son diagramme de travail. Les repères de la figure 5 s'interprètent comme suit : (A) Elévation ; (B) Coupe ; (C) diagramme de travail ; (1) élévateur ; (2) vis malaxeuse ; (3) vis d'enfournement ; (4) silo à charbon ; (5) silo à farine crue ; (6) balance automatique ; (7) four vertical ; (8) convoyeur ; (9) vis à coke ; (10) silo à coke.

L'auteur de ces lignes a vu dernièrement en marche, en Tchéco-Slovaquie, un four vertical Andreas à grande production, dont la description succincte suit. Ce four était destiné à l'une des plus anciennes cimenteries de l'Europe continentale, les Usines à ciment Portland et Romain Kurowitz, comte Seilern and Co., à Tlumatschau (Moravie, Tchéco-Slovaquie). La farine crue homogénéisée et le combustible sont contenus dans deux récipients en tôle, de 10 m³ chacun, placés côte à côte. Le combustible est du menu de coke, en fragments de 0 à 5 mm, contenant de 15 à 18% de cendres, et d'un pouvoir calorifique de 5800 à 6000 cal/Kg ; ce coke est utilisé tel quel, sans séchage préliminaire, ni autre traitement préparatoire.

Sous les récipients se trouvent les balances accouplées pour farine crue et combustible, qui sont chargées par des appareils distributeurs actionnés par les balances. Ces balances travaillent avec une grande précision, et on peut modifier le poids pour lequel elles se déclenchent ; elles sont pourvues de compteurs automatiques, qui permettent de relever à tout moment la quantité de matières mises en oeuvre par le four, et sa consommation de combustible. Les balances sont accouplées et se déchargent simultanément, à une cadence régulière. Des lampes de signalisation, montées sur la plateforme du four à la vue du cuiseur, permettent à ce dernier de surveiller le fonctionnement de ces balances. La figure 1 (page 1231) représente la balance à farine crue, et la figure 6 (page 1234), la balance à combustible, avec le mécanisme d'accouplement.

Au départ des balances, le mélange farine crue et combustible est repris par un élévateur qui alimente la vis de malaxage et d'humidification placée au-dessus du four (fig. 7, page 1235). Dans la partie antérieure élargie de cette vis, le mélange encore sec subit un complément de malaxage ; dans la partie plus étroite, il est humidifié par l'addition d'environ 12% d'eau, et malaxé à fond à l'état humide. Le mélange ainsi obtenu se grumelle, et tombe par l'orifice de décharge de la vis malaxeuse sur la vis répartitrice du système d'enfournement, qui est réglable et réversible, et logée dans la calotte chaudronnée du four, pourvue d'une porte de visite. L'appareillage d'enfournement répartit le mélange régulièrement sur toute la surface du four. La figure 8 (page 1236) représente la plateforme du four, avec la calotte, et son système d'enfournement.

Les gaz brûlés empruntent la cheminée chaudronnée montée sur le côté de la calotte du four.

Le four vertical lui-même est simple de construction. Il consiste en un cylindre chaudronné, de 10 m de hauteur, ne comportant aucune partie, ni rétrécie, ni élargie. Ce cylindre est protégé par un garnissage réfractaire, d'une épaisseur légèrement inférieure à 20 cm, de sorte que le diamètre effectif du four est un peu supérieur à 2 m 50. A l'extrémité inférieure du four à cuire se trouve la grille mécanique, d'un type analogue aux modèles existants, qui détache le clinker cuit et refroidi; ce dernier se rassemble dans un collecteur en forme d'entonnoir. La figure 9 (page 1236) représente le mécanisme actionné électriquement de la grille automatique.

L'extraction du clinker s'opère par les sas de vidange, système Andreas, spécialement construits à cette fin. Malgré la pression élevée de l'air, soit 1000 mm de colonne d'eau, il n'y a aucune fuite d'air; aucune poussière ne vient avec le clinker obtenu, et la vidange se fait avec régularité. La figure 10 (page 1237) représente les sas de vidange, système Andreas, qui, d'après leur construction, sont indestructibles.

L'air de combustion et de refroidissement est fourni par un compresseur, qui débite de 180 à 220 m³ d'air par minute, à la pression statique de 800-1000 mm d'eau. La figure 11 (page 1238) représente le compresseur avec le moteur qui l'actionne, ainsi que la machine destinée à compenser le courant dévatté. L'effet compensateur de cette dernière s'étend à tous les moteurs de l'installation, de sorte qu'ils fonctionnent avec leur facteur de puissance $\cos \phi = 1$; l'ensemble de l'usine marche par suite aussi économiquement que possible, au point de vue consommation d'énergie. Une partie de l'air est insufflée dans le four par dessous la grille mécanique, et les quantités additionnelles réglables au-dessus de la grille, par les boîtes à vent d'air secondaire, et des tuyères spéciales. La figure 12 (page 1238) représente l'enveloppe du four avec les boîtes à vent pour l'air secondaire, ainsi que les registres actionnés de la plateforme du cuiseur.

Tous renseignements sur les arrivées d'air sont fournis par un poste automatique, enregistrant à la fois la pression hydrostatique de l'air, et les quantités d'air. Ce poste, monté sur la plateforme du cuiseur, est représenté figure 13 (page 1239); il mesure et enregistre à la fois la quantité d'air entrant dans le four par la grille, et celles qui passent par les boîtes à vent canalisant l'air secondaire. Les diagrammes fournis par ce poste constituent pour la direction de l'usine un document irréfutable pour contrôler la marche du four et l'activité du cuiseur.

Tous les organes de commande du four sont montés sur la plateforme du cuiseur, et la manœuvre des organes est par suite très simple.

La production moyenne par 24 heures est de 130 tonnes de ciment Portland de haute qualité, avec une consommation de combustible en menus de coke égale à 18% du poids du clinker, soit 116 000 calories par 100 Kilogs de clinker. La consommation globale d'énergie de l'usine travaillant à pleine puissance est de 80 Kw. Deux ouvriers assurent sa marche, un cuiseur et un graisseur; ce dernier peut aisément desservir deux ou trois fours.

L'usine décrite exploitait auparavant en service douze fours Dietz, donnant une production globale de 100 tonnes de clinker par vingt-quatre heures; on employait comme combustible du charbon ordinaire, riche en matières volatiles, donc cher, et il fallait 96 ouvriers pour les douze fours. Sans prendre en considération l'augmentation de la production, le prix inférieur du combustible, ni la meilleure qualité du produit obtenu, l'installation de ce four vertical à grand rendement a fait réaliser des économies, qui ont permis à la direction de l'usine d'amortir ce matériel en l'espace de dix-huit mois.

La flamme du four rotatif, et le rôle du charbon, du vent, et des cendres.

par O. FREY.

LA flamme d'un bec Bunsen, alimenté en gaz d'éclairage, nous donne une image exacte du processus de la combustion, tel qu'il se déroule dans le four rotatif; le bec Bunsen, et en particulier son tuyau, se comportent comme le brûleur d'un four (fig. 1, page 1241). Cette expérience nous donne en outre une idée très nette des phénomènes dont la flamme elle-même, aussi bien que l'espace qui l'entoure, sont le siège. Il va de soi que le processus de la combustion, dans le cas du gaz d'éclairage, est de beaucoup plus simple que celui qui se déroule dans le cas du charbon pulvérisé. La flamme du gaz d'éclairage s'allume facilement, brûle à l'air libre, tandis que la flamme du charbon pulvérisé exige que l'enceinte se trouve d'avance à une température élevée; pour le four rotatif, cette enceinte est la zone de scorification. Avec le gaz d'éclairage, nous disposons d'un produit de distillation, apte par lui-même à entrer en combustion, tandis que le charbon pulvérisé constitue un combustible qui, au moment de son enfournement, est l'objet d'une double modification, se déroulant conjointement avec sa combustion.

Au moment même de son entrée dans le four, le charbon distille pour donner du coke et des gaz; au même moment, la combustion du coke fournit des cendres et des gaz brûlés. Ce processus exige que la chambre de combustion ait une certaine température, même pour la mise à feu. Cette température doit être suffisante pour que, dès son entrée dans le four, le charbon pulvérisé se transforme instantanément en gaz et en coke, condition indispensable à son inflammation et à la continuité du processus de la combustion. Pour que les choses se passent bien ainsi, il faut que la flamme réponde à certaines conditions, à défaut desquelles le processus de la combustion ne peut se dérouler avec la régularité voulue.

Conditions favorisant l'obtention d'une flamme, présentant les qualités requises.—Pour que le combustible soit bien utilisé d'une façon certaine, il faut que le charbon pulvérisé forme un mélange intime avec l'air venant du ventilateur, et que chaque particule s'achemine sur le brûleur, étant en suspension, pour ainsi dire indépendamment des autres. Cette condition ne peut être remplie que si le charbon est tout à fait sec, et que son état de division atteigne un certain degré de finesse; le charbon doit, par suite, répondre à cette condition fondamentale, d'être absolument sec, et d'une finesse suffisante. Pour obtenir un mélange parfaitement intime, il ne faut pas que le charbon soit introduit par trop grande quantité à la fois dans le vent; à cette fin, il convient de diviser l'arrivée du charbon, chaque fraction, relativement faible, étant convoyée par une vis transporteuse particulière. Ces petites quantités se diluent beaucoup plus facilement dans le vent; en pratique, dans ces conditions, la dilution est pour ainsi dire instantanée.

Si le charbon pulvérisé est bien sec, on est ainsi certain qu'il forme avec l'air un mélange intime; pour que l'on puisse régler la flamme, et qu'elle réponde aux conditions requises, il faut en outre que le charbon se trouve dans l'état de finesse approprié. Tant au point de vue de la forme de la flamme, qu'à celui de son action sur la paroi chauffée, soit par rayonnement, soit par convection, il est évident que les particules se comportent d'une façon tout à fait différente, suivant qu'elles sont grossières, moyennes, ou très fines. Pour mieux nous expliquer, prenons à titre d'exemple trois moutures, une grossière, une moyenne,

et une fine. Comme mouture grossière, nous entendons celle dont le refus sur tamis de 900 mailles est de quelques centièmes, et sur tamis de 4900 mailles, de 15 à 20% ; la mouture moyenne est celle qui présente des traces de refus sur tamis de 900 mailles, et un refus de 8 à 10% sur tamis de 4900 mailles. Quant à la mouture très fine, nous considérons que, sur tamis de 4900 mailles, il n'en doit rester que des traces, ou un refus de 1 à 2% au plus.

Il est absolument évident que ces différentes moutures se comportent d'une façon différente dans la flamme, ce dont les croquis ci-joints (fig. 2 à 4, page 1241) permettent de se rendre compte de la façon la plus nette.

Effet de mouture grossière sur la flamme (fig. 2).—Si la mouture du charbon est grossière, dès la sortie du brûleur, les sablottes qui auraient été retenues par le tamis de 900 mailles obéissent immédiatement à la pesanteur, sans avoir évidemment été consumées d'une façon complète ; au contact de la paroi portée au rouge, cette fraction du combustible s'enflamme sans délai, et éclate en se volatilissant, avec formation de cendre ; chacune des particules donne par suite naissance à une gouttelette de cendre. Les résidus sur tamis de 4900 mailles tombent un peu plus loin dans le four, et forment avec les précédents un dépôt de cendres ininterrompu, qui peut atteindre une forte épaisseur, si l'on ne modifie pas la mouture ; la plus grande partie du combustible a ainsi une trajectoire trop courte, et achève sa combustion dans le refroidisseur, dont la température s'en trouve augmentée. Il s'ensuit que la consommation de combustible est exagérée, que le travail du refroidisseur est contrarié, et que le clinker quitte le four à une température trop élevée. Comme le charbon n'arrive à la pointe de la flamme qu'en très faible quantité, les matières n'ont qu'une faible tendance à former des anneaux dans le four. Lorsque la flamme se comporte de cette manière, ce qui est lié à l'emploi de charbon grossièrement pulvérisé, la combustion donne lieu à des pertes ; l'opérateur s'en aperçoit immédiatement. Le cas ne se présente par suite que rarement, et ne peut être que passager.

Effet de mouture extrêmement fine (fig. 3).—Le cas extrême, où le charbon est trop finement pulvérisé, se présente par contre beaucoup plus souvent dans la pratique. A la sortie du brûleur, la plus grande partie des particules d'une trop grande finesse est emportée par le vent de la soufflerie jusqu'à la pointe de la flamme ; étant données les conditions, en arrivant là, la poussière de coke s'est déjà volatilisée et a brûlé depuis longtemps ; ce sont des cendres liquides, très finement divisées, qui sortent de la pointe de la flamme, ou plutôt du cône qui la limite. Les cendres agissent de différentes manières sur les matières crues ou d'une cuisson incomplète, qui circulent en sens inverse. L'action de cette fine pluie de cendres liquides se répercute très loin dans le tambour cuiseur ; les sphérules se recouvrent d'une pellicule adhérente de cendre liquide, qui tend à les agglomérer, et à accrocher la masse quand elle passe par la phase de scorification. Les matières forment ainsi par endroits des couches superposées de faible épaisseur, que la chaleur intensive de la flamme fait entrer complètement en fusion, et il se forme progressivement un anneau, plus ou moins mince ou épais suivant l'intensité du phénomène ; selon la nature des cendres, il peut arriver que la marche du four en subisse une sérieuse perturbation. S'il arrive que la température de scorification ne soit pas suffisante pour que les matières deviennent fluides par fusion, les sphérules conservent leur forme, et leur agglomération forme un bourrelet adhérent ; en état de fusion, par contre, les sphérules perdent leur forme, et, après solidification, on obtient une masse agglomérée, d'une grande dureté, qui comporte des couches interstitielles très nettes de cendres. (Je fais ici abstraction du cas où les bourrelets proviennent

d'une composition défectueuse du mélange cru.) L'action de la flamme se trouve encore renforcée, si le brûleur est oblique par rapport à l'axe du four, et que la flamme soit pointée en direction des matières; les cendres liquides pénètrent directement dans la masse, alors qu'elle chemine en roulant sur elle-même, et l'action qu'elles exercent s'en trouve facilitée.

Effet de mouture correcte sur la flamme (fig. 4).—La granulation du charbon pulvérisé est évidemment celle qui convient quand le charbon et les cendres se répartissent uniformément dans la flamme. Cette granulation varie avec les circonstances, et doit être étudiée spécialement pour chaque qualité de charbon; dans la très grande majorité des cas, cette granulation correspond à un refus nul, ou presque, pour le tamis de 900 mailles, et à un refus compris entre 15 et 25% sur tamis de 4900 mailles. Dans tous les cas, il importe, dans la mesure du possible, de supprimer les fractions extrêmes, et de répartir régulièrement la pluie de cendres sur toute la zone de scorification.

Une ventilation appropriée joue naturellement un rôle important dans la forme de la flamme, que le tirage par la cheminée soit naturel, ou que la ventilation soit artificielle, par l'action d'un ventilateur; il y a lieu de noter à ce sujet que, comme pour le four vertical, si le tirage artificiel est bien réglé, la marche du four s'en trouve accélérée, et le travail devient plus régulier. La flamme s'étire et devient plus longue, et l'on constate que la zone de scorification s'allonge de 2 à 3 m, par rapport à celle que donne le tirage naturel. Comme le tirage artificiel allonge la flamme, cette dernière se comporte dans le four comme une flamme en pointe, ce dont il y a lieu de tenir compte; la pointe de la flamme exerce en outre une action plus ou moins prononcée, suivant que le brûleur coïncide avec l'axe du four, ou qu'il oblique dans la direction des matières.

Pour que la flamme se forme comme il convient, il importe que l'air secondaire arrive dans la proportion voulue, qui doit être suffisante pour que le processus de la combustion fournisse une flamme plutôt oxydante. La meilleure manière de contrôler la combustion est d'analyser les gaz brûlés; lorsque la quantité d'air est judicieusement réglée, ils doivent avoir la composition suivante: $\text{CO}_2 = 25\text{-}26\%$; $\text{O} = 1\text{-}2\%$; $\text{CO} = \text{traces}$. Pour que la flamme se forme d'une manière ininterrompue dans les conditions les plus favorables, il faut, grâce à la ventilation, que les gaz frais la nourrissent, et que les gaz brûlés s'évacuent, sans qu'il ne se produise de battements; la meilleure solution de ce problème consiste à faire appel aux ressources de la ventilation artificielle.

Ces considérations font également ressortir la nécessité de tenir compte des cendres, pour établir la composition de la poudre crue. Il existe, nous le savons, des cendres à forte teneur de silice; cette circonstance doit intervenir dans la détermination de la composition des matières crues, si l'on ne veut pas courir le risque d'obtenir un produit final, qui diffère essentiellement de celui que l'on escomptait. La même remarque s'applique, du reste, si les cendres sont riches en oxyde de fer, ou en chaux, etc. Pour obvier à cette difficulté, il importe naturellement de savoir dans quelle proportion les cendres se mélangent aux matières premières; cette proportion est plus ou moins grande, suivant l'installation existante (chicanes, etc.). Si les chicanes sont à chaînes, les cendres passent presque en totalité dans les matières, et dans d'autres cas, cette proportion est au contraire réduite au minimum. En résumé, la flamme se forme comme il convient quand les conditions suivantes sont remplies:

- (1) Mélange aussi intime que possible de l'air et du charbon, au moment même de l'arrivée du charbon dans le vent.
- (2) Charbon aussi sec que possible, sans incorporation mécanique d'humidité.
- (3) Granulation aussi régulière que possible, à l'exclusion de fractions extrêmes, soit trop fines, soit trop grossières.

- (4) Suppression ou dépression du vent aussi régulière que possible, de préférence à l'aide d'une soufflerie mécanique, facilement réglable.
- (5) Emploi du même charbon, de la même qualité, sans changer de silo. Teneur en cendres aussi faible que possible.
- (6) Conduite d'air sous pression aussi près que possible du four.
- (7) Mise en harmonie de la composition des cendres avec celle de la poudre crue, dans la mesure du possible.
- (8) Eviter tout excès d'air au delà de la limite normale ($O=1-2\%$ dans les flammes perdues).
- (9) Eviter que l'air n'arrive en trop faible quantité.
- (10) Le réglage une fois fait, n'apporter aucune modification à tout ce qui est en rapport avec la flamme.

Les progrès relatifs au ciment, pendant l'année 1930.—II.

par OTTO FR. HONUS.

La fabrication du ciment et ses améliorations.

SELON une communication de R. W. Hyde, à la Dwight and Lloyd Metallurgical Co.³⁷, de New-York, on mélange les matières premières pulvérisées du ciment avec une quantité déterminée de combustible, et éventuellement avec des déchets de fabrication provenant d'opérations antérieures du même genre, et on chauffe à la température de scorification, comprise entre 1000 et 1450°; il se forme une masse poreuse, que l'on transforme sans délai, par cuisson à une température plus élevée, comprise entre 1200 et 1600°, en clinker à ciment, dont on opère par la suite la réduction en poudre. E. J. Hume³⁸, d'Australie, propose de prendre une certaine quantité de calcaire moulu, de lui ajouter la quantité voulue de schiste argileux ou d'argile, de gâcher le tout avec suffisamment d'eau pour former une pâte de consistance molle, et de mélanger ensuite de façon intime cette pâte avec le calcaire moulu; après briquetage, on procède à la cuisson. H. Stelmann³⁹, de Berlin, parvient à diminuer la teneur en eau de la boue crue à ciment en enfournant dans le four rotatif, conjointement avec la boue, une quantité de farine sèche telle, que la chaleur que contiennent en principe les gaz brûlés dans le procédé sec soit suffisante pour volatiliser la quantité d'eau globale. H. Meuris⁴⁰, de Bruxelles, obtient de l'acide sulfurique parallèlement au ciment en chauffant après briquetage un mélange de SO^4Ca , d'argile, de charbon, et d'un carbonate métallique, comme CO^3Ca ou CO^3Fe ; le charbon brûle en totalité avant d'arriver à la zone de clinkérisation, et ce procédé empêcherait la formation nuisible de CaS . Selon E. Urbain⁴¹ on obtient du phosphate de calcium parallèlement à un ciment d'excellente qualité, en faisant chauffer au four électrique du feldspath et du phosphate de potassium; P^2O^5 et K^2 sont expulsés, et récupérés à l'état de PO^4K^3 . Pour diminuer la teneur en Si, il propose d'ajouter dans le four au bain de fusion du Fe^2O^3 , qui donnerait au ferro-silicium la possibilité de se former. La Kolloidchemie Studiengesellschaft,

³⁷ Brevet américain, 1746944.

³⁸ Brevet autrichien, 16269/28.

³⁹ Brevet allemand, 498203.

⁴⁰ Brevet anglais, 324199.

⁴¹ Brevet français, 679827.

de Hambourg, et J. B. Carpzow⁴², cherchent à produire les liants hydrauliques et l'acide sulfurique en partant de sulfates de calcium naturels ou de déchets de fabrication des fours à plâtre, et de vase extraite de l'eau douce ou salée; ces matières premières étant mélangées de manière intime, éventuellement après pourrissage, on procède à leur cuisson au four rotatif à 800-900°.

H. Hempel⁴³, de Pologne, obtient des ciments très riches en silice en chauffant à la température de scorification, ou presque, des pierres calcaires de composition appropriée, et SiO_2 . La composition centésimale peut varier de 60 à 70 SiO_2 , 25 à 30 CaO , et 4 à 5 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$. Les produits ainsi obtenus, employés tels quels ou mélangés au ciment Portland, sont très stables en présence de l'eau de mer, des acides, et des alcalis. Selon une communication de H. Meyers⁴⁴, en mélangeant des phosphates naturels pauvres en silice, avec des substances contenant K et Al, éventuellement aussi avec du charbon, les A. A. Fertilizer Works, de Chicago, obtiennent une substance consistant en silicates de calcium et d'aluminium, que la mouture transforme en ciment. Les éléments P et K volatilisés par la cuisson peuvent servir à la fabrication du phosphate de potassium, susceptible de servir d'engrais. En opérant au four rotatif à une température de 1300 à 1400°, F. W. Huber⁴⁵ obtiendrait de très bons ciments, en procédant à la cuisson de mélanges, composés d'argile ou autres substances contenant Al, et de substances calcaires, contenant 2-3% P_2O_5 et une quantité de Fe_2O_3 un peu supérieure à la quantité équimoléculaire de P_2O_5 . En vue d'obtenir des ciments de composition toujours uniforme, la Sté. des Ciments Portland Artificiels⁴⁶ fait subir aux matières premières un traitement à la suite duquel les constituants peuvent être aisément isolés; ces constituants sont alors mélangés dans les proportions voulues, et transformés en ciment. On fait par exemple chauffer au rouge les substances contenant CO_3Ca et SiO_2 , après quoi on les fait passer au séparateur à air, pour recueillir séparément CaO et SiO_2 ou les silicates. Pour faciliter les réactions dans la fabrication du ciment et de l'acide sulfurique en partant du gypse, la Société I.G. Farbenindustrie⁴⁷ ajoute aux matières premières, gypse et argile, la quantité voulue de charbon, après quoi l'on procède à la cuisson de cette masse pâteuse, mise par pressage sous forme de blocs.

J. H. Bradbury⁴⁸ cherche à obtenir simultanément du ciment Portland et du fer au cuivre en faisant fondre au four à arc du laitier additionné de chaux et de coke; le four utilisé comportait un garnissage en briques de magnésie. La consommation de coke était supérieure aux prévisions; la réduction de FeO se faisait difficilement, et n'était complète que si l'on poussait la réduction jusqu'à l'obtention de CaC_2 . On observait alors également que MgO était réduit dans de fortes proportions. Les scories obtenues se délitaient en refroidissant lentement, mais on pouvait supprimer ce phénomène en les refroidissant brusquement par immersion dans l'eau, et l'on obtenait ainsi un ciment utilisable. Le fer obtenu, soit 10-12% de la masse, comportait une forte proportion d'impuretés, Si, P, Mg, Cu, et C. D. Werner et St Giertz-Hedström⁴⁹ obtiennent un ciment mixte difficile à dissoudre, en partant de ciment Portland et d'anhydride arsénieux, dont ils chauffaient le mélange à environ 200°; la proportion la plus favorable serait 30% de As_2O_3 , et 70% de ciment Portland.

⁴² Brevet allemand, 502894.

⁴³ Brevet français, 686455.

⁴⁴ Brevet américain, 1778224.

⁴⁵ Brevet américain, 1781232.

⁴⁶ Brevet français, 690021.

⁴⁷ Brevet belge, 353425.

⁴⁸ Chem. Eng. Mining Rev., Vol. 22, p. 443; Vol. 23, p. 27, 1930.

⁴⁹ Technisk Tidskr., Vol. 60, p. 41, 1930.

P. Mecke⁵⁰ obtiendrait des ciments ou des chaux imperméables à l'eau par l'addition d'une poudre sèche, consistant en sels alcalins ou ammoniacaux, que l'on triture avec des acides gras, ou que l'on fait fondre ensemble.

Ch. T. Riley, J. C. Lay, E. C. Clark et A. H. Cronk⁵¹ obtiennent aux États-Unis des masses réfractaires, particulièrement appropriées au garnissage intérieur des fours, en incorporant au ciment moulu du sel de cuisine, de l'argile, du spath calcaire et CaF_2 .

Aux États-Unis, Guy S. La Forge⁵² propose d'incorporer au mélange cru à ciment du clinker de ciment non moulu, de broyer le tout, et de procéder à la cuisson. La présence dans le mélange des matières premières de clinker pulvérisé facilite la marche de la cuisson, et en réduit la durée. Les British Portland Cement Manufacturers, Ltd., S.G.S. Panisset, et W. S. Hannah⁵³, de Londres, obtiennent du ciment blanc, en traitant immédiatement après cuisson le mélange des matières avec un agent réducteur, et en procédant ensuite au refroidissement de la masse assez rapidement, pour qu'elle ne puisse s'oxyder à nouveau. On peut, par exemple, procéder à la réduction au moyen de charbon pulvérisé véhiculé par un jet d'air, ou en précipitant le clinker à la température du rouge à surface surnage de la paraffine.

En procédant à la mouture d'un mélange, formé d'une part de roches calcinées, contenant du quartz, du feldspath, et une substance riche en constituants acides (SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3), et d'autre part de ciment Portland, G. Imai⁵⁴, de Tokio, obtiendrait des ciments mixtes. H. C. Badder⁵⁵, de Londres, fait entrer en fusion du ciment, Portland ou analogue, et lui incorpore des oxydes métalliques, des carbonates, ou autres sels, dans le but d'obtenir des ciments colorés.

Dans une autre série de recherches, E. Urbain⁵⁶ fait chauffer à 400-600° du phosphate naturel, un silicate d'aluminium, comme le feldspath, et une quantité plus ou moins grande de charbon qui dépend du type de four; K_2O , P, et CO sont expulsés, et la matière qui reste dans le four peut être utilisée comme ciment, sa composition chimique étant la suivante: $\text{CaO}=50\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3=20\%$; $\text{SiO}_2=30\%$.

Selon une communication de E. R. Willner⁵⁷, de New-York, à la Eddystone Cement Corp., on fait chauffer à part les matières premières du ciment à des températures relativement basses, par exemple l'argile à 800°, le calcaire jusqu'à expulsion complète de CO_2 ; après mélange, on procède à leur mouture jusqu'au degré de finesse voulu, et, après addition éventuelle de gypse, on les traite à l'eau ou à la vapeur en les brassant. Le produit ainsi obtenu serait étanche à l'eau et à l'air, et stable en présence de l'eau de mer et des acides.

Fabrication du ciment alumineux.

La S. A. des Chaux et Ciments de Lafarge et du Teil⁵⁸, de Viviers (France) propose de partir de SO_4Ca à un degré quelconque d'hydratation, de le mélanger à l'état finement pulvérisé avec une quantité de ciment alumineux, ou des matières premières de ce dernier, telle, que dans le produit final, la totalité de

⁵⁰ Brevet allemand, 512876.

⁵¹ Brevet américain, 1756762.

⁵² Brevet américain, 1784840.

⁵³ Brevet anglais, 331584.

⁵⁴ Brevet anglais, 319342 et Brevet français, 670362.

⁵⁵ Brevet anglais, 320597.

⁵⁶ Brevet français, 695221.

⁵⁷ Brevet américain, 1785508.

⁵⁸ Brevet anglais, 317783.

Al se retrouve à l'état de sulfo-aluminate de calcium. E. Urbain⁵⁹ obtient de l'hydrogène, de l'acide phosphorique, du ciment alumineux et du charbon d'une grande activité chimique en faisant traverser à 1000° environ, conjointement avec de la vapeur d'eau et un acide résultant de la combinaison de l'hydrogène et d'un halogène (HCl), une couche de charbon amorphe et poreux, par les gaz obtenus, selon brevet principal 639412, au four électrique en partant de phosphates naturels riches en Al, et de charbon. Pour empêcher la formation de masses compactes lors de la solidification du ciment fondu, R. S. Lewy⁶⁰ propose, soit de ralentir le refroidissement de la masse en fusion, au moyen d'un courant de gaz calorigène ou d'air surchauffé, soit d'incorporer à la matière en fusion, à sa sortie du four, du clinker de ciment fondu d'une opération précédente, du clinker de ciment calcaire, ou du laitier de haut-fourneau. Dans une autre série de recherches, R. S. Lewy⁶¹ obtient du ciment alumineux en ajoutant, au mélange ordinaire des matières qui le constituent, du ciment calcaire dépoussiéré, en fragments de la grosseur d'un pois, et en chauffant jusqu'à clinkérisation le mélange ainsi préparé. Dans ces conditions de travail, le garnissage du four rotatif serait moins attaqué, et on éviterait tout collage aux parois du four. Selon B. Spiegl⁶², pour obtenir du ciment alumineux, il faut arrêter la mouture du calcaire et de la bauxite (cette dernière avec une teneur en Fe=5-15%), lorsque la finesse correspond à un refus minimum de 15% sur tamis de 900 mailles. Il faut alors prolonger la cuisson plus longtemps que lorsqu'il s'agit de mélanges de la finesse habituelle; l'économie réalisée à la mouture est supérieure à la majoration des frais de cuisson. La S.A.I.G. Farbenindustrie⁶³ obtient du ciment fondu alumineux et du phosphore en deux opérations; dans la première, pour éliminer le fer, on fait chauffer jusqu'à fusion complète un mélange composé par exemple comme suit: Bauxite contenant 65% Al_2O_3 , 20% Fe_2O_3 , 2% SiO_2 , CaO et charbon, dans les proportions 100:17:10. La scorie ainsi formée contenait 80% Al_2O_3 , 19% CaO, et 1% SiO_2 ; dans la deuxième opération, on procède à la fusion complète de cette scorie, additionnée de phosphate sous forme de roche dure contenant 35% de P_2O_5 et 51% de CaO, dans la proportion de 2 à 1, en présence de charbon. Le ciment alumineux obtenu contient CaO=48%, Al_2O_3 =48%, SiO_2 =4%. La Cie des Produits Chimiques et Electrométallurgiques Alais, Froges et Camargue⁶⁴ propose de clinkérifier à une température de 1200-1250° un mélange de bauxite, de gypse et de charbon, dosés dans les proportions correspondant à l'aluminate monocalcique et à l'aluminate dicalcique. W. Kyber⁶⁵ obtient à la fois du ciment alumineux et du phosphore en procédant à la fusion simultanée de phosphate de Al, de CaO, et de charbon. Pour neutraliser le soufre des ciments fondus obtenus en partant de phosphates naturels, W. Kyber⁶⁶ ajoute à la charge en question ou aux matières en fusion résultant de la cuisson une certaine quantité de MgO; on annihile ainsi la perte de résistance et le dégagement de H_2S gazeux lors du gâchage.

Propriétés.

T. Thorvaldson, V. A. Vigfusson, et D. Wolochow⁶⁷ ont procédé à des recherches concernant l'action du gel silicaté sur le mortier de ciment Portland,

⁵⁹ Brevet français, 34566.

⁶⁰ Brevet français 680762.

⁶¹ Brevet français, 680763.

⁶² Brevet américain, 1775575.

⁶³ Brevet polonais, 10863; Brevet allemand, 483399.

⁶⁴ Brevet français, 678096.

⁶⁵ Brevet allemand, 495436.

⁶⁶ Brevet allemand, 511520.

⁶⁷ Canadian J. Res., Vol. 1, p. 385, 1929.

au point de vue de sa résistance à l'action des sulfates. En présence des sulfates de Ca et de Na, l'addition de gel silicaté exerçait une influence favorable sur le ciment Portland, après prise et durcissement de ce dernier à 100° dans la vapeur, en s'opposant à son expansion et en lui conservant sa résistance à la traction. Les mortiers contenant du gel silicaté jusqu'à 20% en poids du ciment, et durcis dans la vapeur, avaient une stabilité un peu plus grande dans les liqueurs des sulfates de Na et de Ca que les mortiers ayant subi le même traitement, mais sans gel; le contraire se produisait avec les liqueurs de SO^4Mg . Les mortiers composés de chaux, de gel silicaté et de sables se comportaient, à l'égard des sulfates, de la même manière que les mortiers composés de ciment, de gel et de sable. Après avoir appliqué un mode opératoire élaboré par lui, D. Werner⁶⁸ examine la solubilité de diverses catégories de ciment en faisant subir, aux divers échantillons, un traitement répété à l'eau. Dans les liqueurs obtenues, on dose CaO libre, ainsi que SiO^2 , Fe^2O^3 , Al^2O^3 , et en outre $\text{K}^2\text{O} + \text{Na}^2\text{O}$, et l'on constate la régression de la solubilité de la chaux par l'incorporation d'éléments acides. K. E. Dorsch et A. Deubel⁶⁹ étudient la viscosité des ciments en cours de prise, en appliquant la méthode du filtre immergé; tous les ciments examinés présentaient une forte augmentation de viscosité depuis la minute 0 jusqu'à la minute 60, période suivie d'une autre, de viscosité constante, qui dure environ 30 minutes. La viscosité augmente ensuite lentement. Ces phénomènes sont mis en harmonie avec les théories sur la marche de la prise.

H. Kuhl⁷⁰ propose de remplacer le module hydraulique par le degré de saturation en chaux. Le degré de saturation en chaux fait connaître la quantité de chaux théoriquement la plus élevée que nécessite la formation des substances $\text{SiO}^2.3\text{CaO}$, $\text{Al}^2\text{O}^3.3\text{CaO}$, et $\text{Fe}^2\text{O}^3.2\text{CaO}$; il convient de l'exprimer par la formule :

$$\text{CaO} = 2,8\text{SiO}^2 + 1,65\text{Al}^2\text{O}^3 + 0,7\text{Fe}^2\text{O}^3.$$

Hydratation, prise et durcissement.

Poursuivant leurs travaux, T. Thorvaldson, N. S. Grace et V. A. Vigfusson⁷¹ ont fait des recherches sur l'hydratation de l'aluminate tricalcique et obtenu l'hydrate à six molécules en faisant agir la vapeur d'eau à 130° sur cette substance, mise sous forme de petits trapézoédres. On obtenait également l'hydrate à six molécules en faisant agir la vapeur d'eau sur le mélange de $3\text{CaO} + 1\text{Al}^2\text{O}^3$; l'hydrate à six molécules cristallise principalement dans le système cubique, et dans les deux cas on obtient le même diagramme aux rayons X. A 21°, la solubilité à l'état anhydre est de 0,0346 gr dans 10 cm³ d'eau et à 40°, de 0,02689 gr. En agitant $\text{Al}^2\text{O}^3.3\text{CaO}$ avec un grand excès d'eau, aux basses températures, ces savants obtenaient un autre hydrate fortement hydraté, qui prend la forme cristalline indiquée par Klein et Phillips⁷². En opérant à la température constante de 21°, et en laissant les substances au repos à côté de diverses liqueurs ayant une tension de vapeur définie, jusqu'à l'état d'équilibre, on a obtenu des indices, permettant de conclure à l'existence de combinaisons de Al^2O^3 avec 6, 9,8, 10,5, et 12 molécules d'eau. A 20°, la chaleur de dissolution de l'hydrate à 6 molécules ressort à 519 cal. par gramme de $\text{Al}^2\text{O}^3.3\text{CaO}$ supposé déshydraté, et pour les hydrates à 9,8, 10,5, et 12 molécules, respectivement à 21, 37, et 41 cal/gr en moins.

⁶⁸ Technisk Tidskr., Vol. 60, No. 37, Kemi, pp. 57, 68, 1930.

⁶⁹ Kolloid Ztschr., Vol. 51, p. 180, 1930.

⁷⁰ Tonind. Zeit., Vol. 54, p. 389, 1930.

⁷¹ Canadian J. Res., Vol. 1, p. 201, 1929.

⁷² Bureau Standards Tech. Papers, No. 43, 1914.

Dans ses communications, A. Stopoe⁷³ trouve que les divers trass agissent différemment sur le temps de prise du ciment Portland; d'une façon générale, le trass retarde la prise, et son action est plus faible sur le ciment Portland à haute résistance que sur le ciment ordinaire. Le début du durcissement du ciment Kuhl se trouve accéléré par l'addition de trass, et la fin du durcissement est retardée par l'addition de petites quantités de trass. L'addition de trass produit ainsi sur le ciment Portland et sur le ciment Kuhl des effets contraires, et la même remarque s'applique au temps de prise.

Par ses recherches en collaboration avec Gottfried et Thilo, H. Kuhl⁷⁴ montre qu'il n'est pas possible d'étudier le processus du durcissement en présence de grandes quantités d'eau, car dans ce cas l'hydrolyse est plus prononcée que lors de la prise du béton; les épreuves obtenues aux rayons X mettent ce phénomène en lumière. Comme les mortiers préparés avec des produits industriels contiennent déjà des substances cristallines, on a pris pour ces essais du laitier de haut fourneau vitreux, que l'on gâche avec KOH entièrement privé de CO₂. Au 10^{ème} jour, on obtenait une bonne résistance, sans qu'au microscope on puisse déceler aucun cristal, ce que confirmait l'examen aux rayons X, et l'on est ainsi amené à imputer le durcissement à un processus, ressortant de la chimie des colloïdes. Etudiant une perturbation dans la prise, Haegermann⁷⁵ a décelé la présence de N²O⁵ dans l'eau de gâchage. Les essais de Stein⁷⁶ confirment l'hypothèse de Grauer, que la première manifestation du gypse serait de neutraliser les alcalis, formés par hydratation aux dépens de la masse. Le gypse incorporé provoquerait ensuite le gonflement du ciment, et la résistance augmente parallèlement à ce gonflement. Opérant sur divers ciments, avec de l'eau potable et de l'eau distillée, E. Probst et K. E. Dorsch⁷⁷ établissent que l'on obtient diverses valeurs pour les résistances, et proposent, pour cette raison, d'employer de l'eau distillée pour les essais normaux.

D'après les investigations de F. O. Anderegg et D. S. Nubell⁷⁸ sur la vitesse d'hydratation du clinker de ciment, pour les particules de ciment de 15 à 25 μ , la prise était partielle en 9 mois, et complète en 12 mois. Les particules de Al²O³.3CaO de 25 μ avaient fait prise aux trois quarts, en 3 heures, celles de SiO².3CaO en 7 jours, et celle de SiO².2CaO en 5 mois et demi. Étant donnés les temps de prise des deux silicates, ceux des ciments examinés avaient une valeur intermédiaire. En général, les mélanges de substances minérales réagissent plus rapidement que les mêmes substances prises isolément, remarque qui s'applique particulièrement au ciment Portland. Y. Shimizu⁷⁹ applique la méthode de la conductibilité électrique à l'étude de la prise du ciment alumineux de laitier créé par lui, ainsi qu'à celle d'un ciment de laitier de haut fourneau et d'un ciment Portland de fer. Des courbes de conductibilité, il résulte que la prise et le durcissement du laitier sont accélérés par le ciment; les courbes permettent de déterminer la proportion qui convient le mieux au mélange de laitier et de ciment. Le ciment alumineux de laitier est celui qui présentait les meilleures propriétés mécaniques.

K. Koyanagi⁸⁰ étudie l'hydratation du ciment Portland, et le rôle du phosphate monocalcique dans l'hydratation du ciment; l'étude de l'hydratation a été faite la plupart du temps, jusqu'à ce jour, en présence d'un grand excès d'eau, et

⁷³ Tonind. Zeit., Vol. 54, pp. 2, 37, 590, 1930.

⁷⁴ Zement, Vol. 19, p. 262, 1930.

⁷⁵ Ibid., p. 264.

⁷⁶ Ibid., p. 240.

⁷⁷ Zement, Vol. 19, p. 1009, 1930.

⁷⁸ Proc. Amer. Soc. Test. Mat., Pt. 2, p. 554, 1929.

⁷⁹ Sci. Reports, 1, 19, p. 307, 1930.

⁸⁰ J. Soc. Chem. Ind. Japon, Suppl. 33, p. 147B, 1930.

en opérant sur des clinkers non additionnés de gypse; il s'ensuit que les conditions sont autres que dans la pratique. On a gâché et observé 50 sortes de clinkers de four rotatif, en modifiant 10 fois la quantité d'eau. On obtient des cristaux de sulfo-aluminate de Ca, en partant d'un clinker en poudre de la meilleure qualité, que l'on agite avec de l'eau, après quoi on le laisse reposer de 2 à 3 heures au contact d'une liqueur de gypse. Les cristaux se présentent sous forme d'aiguilles, constituant une masse floconneuse; il était indispensable que le clinker soit frais, et contienne moins de 0,4% de CaO libre, et les aiguilles ne se formaient pas, quand le clinker avait une forte teneur en SO^3 . Pour lessiver le clinker, il faut opérer avec 30 fois autant d'eau, pendant 8 à 14 heures. La composition des aiguilles est: $\text{Al}^3\text{O}^3.3\text{CaO}.2,5\text{SO}^4\text{Ca}.30\text{H}^2\text{O}$. Au point de vue optique, les aiguilles étaient négatives, monoaxées, et fortement biréfringentes. Avec le clinker bien cuit, on obtient par hydratation des aiguilles épaisses et courtes, et des petites plaques hexagonales de $\text{Al}^3\text{O}^3.3\text{CaO}$; les aiguilles se transforment lentement en plaquettes. En présence de gypse, il se forme d'abord des aiguilles de sulfo-aluminate, et ensuite une masse de gel et de l'hydrate de chaux; on ne trouve jamais de silicates de chaux, et les deux substances indiquées se formaient en dernier. L'action modératrice du gypse sur la prise repose sur la formation du sulfo-aluminate, et le durcissement repose sur la formation d'une masse de gel aux dépens du silicate de chaux; les clinkers incuits s'hydratent en premier avec formation d'une masse de gel. C'est seulement en présence d'un grand excès d'eau que l'on voit apparaître les courtes aiguilles d'aluminate; le ciment riche en chaux libre nécessite une plus grande quantité d'eau pour former les aiguilles d'aluminate. Avec les incuits, les petites plaques d'hydrate de chaux se forment plus rapidement qu'avec le ciment de bonne qualité, surtout lorsque la chaux libre est abondante; cette remarque permet de déceler cette dernière dans les incuits. L'aluminate ne commence à apparaître qu'après plusieurs semaines. Le durcissement est dû également dans ce cas à la masse de gel.

La présence de $(\text{PO}^4)^2\text{CaH}^4$ ⁽⁸¹⁾ est une cause de perturbation pendant la prise, mais non après; cette substance s'oppose en effet à l'hydratation de l'aluminate de Ca, et, d'autre part, elle réagit fortement sur la chaux en formant des phosphates insolubles.

G. Haegermann⁸² a procédé à la cuisson de 12 farines crues industrielles, en opérant, toutes choses égales, entre 1225 et 1475°; il déterminait dans les échantillons de clinker moulu la teneur en CaO libre par la méthode d'Emley, et appréciait la stabilité de volume par l'épreuve de l'ébullition et celle à l'eau de chaux. Dans les conditions où le chauffage a lieu au four rotatif, la cuisson serait déjà parfaite à 1275°, mais, si l'on se base sur l'épreuve d'ébullition, on aurait une marge de températures de plus de 200°, et, avec l'épreuve à l'eau de chaux, cette marge serait encore de 100°. Le clinker à 2% de chaux libre supporte généralement bien l'épreuve de l'ébullition; à 1%, il la supporte toujours. S'il s'agit de l'épreuve à l'eau froide, la chaux libre peut atteindre 4%.

(A suivre)

J. Soc. Chem. Ind. Japon, Suppl. 33, p. 276B, 1930.

⁸² Zement, Vol. 19, p. 982, 1930.

La nouvelle cimenterie, près de Neuwied s/Rhin.

par L. E. PERES.

UNE nouvelle cimenterie a été mise ces temps derniers en exploitation, qui constitue un des plus grands et des plus modernes établissements de ce genre en Europe. L'usine a été édifiée l'année dernière par la Société anonyme Wicking pour la fabrication du ciment Portland et de la chaux hydraulique, en vue de tirer parti d'un emplacement, favorisé par le bas prix du fret, et de faire bénéficier en outre la nombreuse clientèle du bassin rhénan de ces conditions de transport avantageuses; l'emplacement est en outre favorablement situé, au point de vue fret, pour l'approvisionnement en trass, que l'usine consomme en grandes quantités pour la fabrication mécanique du ciment de trass. L'élaboration complète du projet avait été confiée aux Établissements Andreas, S.A.R.L., entreprise de constructions mécaniques.

Comme matières premières, la pierre calcaire provient des carrières sises près de Oppenheim; après avoir subi sur place un premier concassage, exécuté au moyen de concasseurs à marteaux de modèle spécial, elle est transportée jusqu'aux silos situés sur la rive du Rhin, d'où elle peut être chargée directement dans les bateaux du fleuve, l'embarquement se faisant dans le minimum de temps. L'argile provient des carrières, situées à proximité de Coblenze; plusieurs équipements de délayage, installés à la carrière même, la transforment en boue, que l'on envoie telle quelle dans un bateau-citerne par une canalisation.

A l'arrivée, le débarquement du calcaire est opéré à l'aide d'une grue tournante de grandes dimensions, dont le champ d'action embrasse toute la longueur des bateaux, même celle des plus grandes péniches rhénanes. La benne de la grue de déchargement déverse les matières dans celle du chariot d'un monorail électrique, d'une capacité de 5 m³; cette benne, circulant à grande vitesse, se déverse à son tour dans un immense entrepôt pour matières premières. La capacité de cet entrepôt est suffisante pour qu'en cas de crues ou d'arrêt de la navigation par les glaces, le ravitaillement de l'usine soit assuré malgré les difficultés de transport. (Figs. 1 et 2, page 1250.)

Le déchargement du bateau-citerne spécial pour l'argile se fait au moyen d'une pompe centrifuge, qui la refoule sur l'entrepôt spécial pour l'argile; il suffit d'une heure pour décharger un bateau de ce genre. La transformation de l'argile en boue est achevée, à mesure des besoins, dans des bassins de réserve spéciaux, pourvus de dispositifs d'agitation.

La pierre calcaire est prélevée sur le magasin à matières premières au moyen d'une grue à benne preneuse, qui se décharge directement dans les trémies d'attente des broyeurs compound humides; ces trémies sont dimensionnées de manière à satisfaire aux besoins pendant le travail d'une équipe, soit huit heures. (Figs. 3 et 5, pages 1250, 1252.)

Le bâtiment abritant les deux broyeurs humides de 2 m 20 de diamètre et 14 m de longueur, et celui des deux broyeurs à ciment ayant les mêmes dimensions, sont ainsi juxtaposés, que la surveillance de l'ensemble de l'équipement de mouture, d'une production journalière de plus de 1000 tonnes, puisse être assurée par un seul homme.

Sur la base d'une production journalière de 1000 tonnes et plus, les deux broyeurs à ciment ont une capacité de débit suffisante pour produire, soit du ciment normal présentant un refus de 10-12% sur tamis de 4900 mailles au centimètre carré, soit même du ciment spécial ou du ciment de trass avec un refus bien moindre, soit 2-4% sur tamis de 4900 mailles.

Le transport de la boue crue à partir des broyeurs jusqu'aux silos à boue s'opère au moyen de pompes centrifuges. Le brassage de la boue qui s'effectue dans ces silos a pour objet de rendre le mélange absolument homogène.

Pour la cuisson du ciment, l'installation comporte deux fours rotatifs prévus pour le procédé humide, de 3 m 30 de diamètre et 63 m de longueur, chauffés au charbon pulvérisé. Les gaz brûlés traversent à une température d'environ 250° une chambre de dépoussiérage électrique placée à la sortie des fours; cette chambre a été construite par la Société d'appareillage Lurgi, de Francfort s/Main. Faisant suite à la chambre de dépoussiérage, se trouvent deux ventilateurs déprimogènes, qui refoulent ensuite les gaz épurés sur deux cheminées en béton de 60 m de hauteur, et de 3 m 30 de diamètre intérieur au sommet. Cet équipement capte les poussières des gaz dans la proportion de 99%, ce qui supprime d'une façon absolue tous les inconvénients qu'elles pourraient présenter pour le voisinage.

La préparation du charbon a lieu dans une installation spéciale. Le charbon, arrivant par bateau, est débarqué à l'aide d'une grue de déchargement pivotante, pouvant décrire un cercle entier, qui se vide sur un convoyeur à tablier, aboutissant aux silos à charbon tout-venant. Le charbon est prélevé sur les silos par un dispositif automatique, qui dose la houille grasse et la houille maigre dans les proportions voulues. Ce mélange passe d'abord par un tambour sécheur, et ensuite par un broyeur compound de 1 m 80 de diamètre et 13 m de longueur, capable d'une production horaire de 20 tonnes et plus, avec un refus d'environ 6% sur tamis de 4900 mailles; ce broyeur est à même de satisfaire à une augmentation ultérieure de la production de l'usine. (Fig. 4, page 1251.)

En raison de la marche parfaitement sûre du broyeur compound à charbon, on a pu se dispenser d'installer un broyeur de réserve pour la préparation du combustible.

Après cuisson, le clinker est acheminé sur les silos à clinker par des gouttières à secousses et des élévateurs à godets; à la sortie des silos, le clinker arrive aux deux broyeurs à ciment dans d'autres gouttières à secousses.

Lors de la construction des bâtiments, silos, etc., on a tenu compte dès l'abord des agrandissements importants dont l'usine pourrait être ultérieurement l'objet. C'est pour cette raison qu'à première vue, l'installation semble manquer de la cohésion qu'elle présentera lorsqu'elle aura atteint son entier développement.

L'emballage et le chargement du ciment offraient certaines difficultés, car il fallait prévoir à la fois l'ensachage en sacs de papier et de jute, et la mise en barils, pour l'expédition par fer, par eau, et par automobiles.

L'ensachage se fait au moyen de l'ensacheuse pour sacs à clapet, système Andreas, qui permet à un seul homme de remplir à l'heure jusqu'à 1000 sacs, d'un poids d'une exactitude absolue. La mise en barils se fait à l'aide d'une embarilleuse entièrement automatique, système Andreas, débitant 100 barils à l'heure avec un seul homme. (Fig. 6, page 1253.)

Le ciment quitte l'atelier d'ensachage sur des convoyeurs à tablier, pour aller directement aux wagons, ou pour être déposé sur les plates-formes suspendues au chariot d'un monorail électrique, dans le cas de l'expédition par voie d'eau. Les barils quittent l'embarilleuse à secousses sur un convoyeur à rouleaux, et arrivent à la machine automatique à clore les barils, d'où ils sont repris par des convoyeurs à rouleaux qui les déposent sur les plates-formes du monorail électrique aboutissant au bateau.

L'embranchement de la voie ferrée se trouve entre l'atelier d'ensachage et celui d'embarillage, de sorte que le chargement des wagons à partir des appareils d'emballage peut se faire des deux côtés à la fois; l'atelier d'embarillage comporte en outre une rampe spéciale pour le chargement des camions automobiles.

Avec sa production globale actuelle de plus de 1000 tonnes, y compris l'atelier de réparations, le laboratoire, la maîtrise, etc., l'usine n'occupe que 160 personnes.

L'ensacheuse "Rotary Fluxo."

L'ENSACHEUSE "Rotary Fluxo" est une machine à ensacher et à peser automatiquement le ciment, la chaux et les phosphates en poudre, les cendres de soude, et toutes matières analogues finement pulvérisées; elle implique l'emploi de sacs en papier ou en jute.

Après examen approfondi de tous les facteurs susceptibles de réduire les frais d'ensachage au minimum, on a prêté une attention particulière à: (1), l'emploi de sacs de dimension aussi réduite que possible; (2) la précision de la pesée; (3) la diminution de la main-d'œuvre; (4), l'augmentation jusqu'à 1200-1400 du nombre de sacs remplis par homme et par heure; et (5) la suppression dans la machine de toute pièce à mouvement rapide.

Pour éviter qu'il n'y ait entraînement d'air pendant le remplissage des sacs, l'ensacheuse "Rotary Fluxo" a été pourvue de dix bouches; quoique la machine débite de 1200 à 1400 sacs pleins à l'heure, le temps réservé au remplissage de chacun d'eux est plus long que d'habitude.

Dans sa disposition, l'ensacheuse "Rotary Fluxo" diffère essentiellement de tous les autres types d'ensacheuses pour sacs à clapet. Les matières à ensacher et à peser sont rendues fluides par l'incorporation d'une faible quantité d'air comprimé, combinée à l'action d'agitateurs mécaniques; obéissant à la gravité, les matières s'écoulent dans les sacs par les bouches de remplissage. En maintenant les matières à une hauteur constante dans le réservoir nourrisseur, on obtient un débit aussi précis que si les matières manutentionnées étaient réellement fluides.

Pour que la contenance des sacs soit utilisée au maximum, leur remplissage se fait en deux phases. Dans la première, le sac se remplit presque complètement, après quoi il est tapoté à l'extérieur par de petits maillets, qui facilitent le dégagement de l'air, ce qui permet aux matières de se tasser en occupant le volume minimum. C'est alors que commence la deuxième phase du remplissage, et, dès que le poids exact est atteint, le levier auquel le sac est suspendu s'abaisse brusquement et arrête l'arrivée des matières. Le sac se décharge automatiquement de l'ensacheuse.

Comme le représente la figure 1 (page 1254), la machine comporte un réservoir nourrisseur cylindrique, auquel sont fixées les bouches. Le réservoir tourne autour de son axe, et les bouches de remplissage se présentent successivement à l'opérateur, dont le seul travail consiste à monter des sacs vides sur les bouches. Un seul homme peut manutentionner aisément de 1200 à 1400 sacs à l'heure.

Dans certaines ensacheuses, l'opérateur a un levier à manœuvrer, de sorte qu'il pourrait dégager le sac avant son parfait remplissage, et nuire à la précision de la pesée. Le débit de l'ensacheuse "Rotary Fluxo" ne dépend par contre que de la vitesse de la machine, et non de l'habileté de l'opérateur, qui ne joue aucun rôle dans la précision de la pesée, car les sacs sont automatiquement déchargés de la machine avant de se présenter de nouveau à l'opérateur.

La machine décharge les sacs sur un dévaloir qui peut les mettre directement en wagons, ou les déposer sur un convoyeur à tablier qui les achemine sur le wagon, le camion, ou le bateau.

La fig. 2 (page 1255) montre le transporteur allant de l'emballage jusqu'au service de l'expédition; le service de l'expédition est représenté par la figure 3. Cette machine permet, paraît-il, d'employer des sacs meilleur marché, elle fournit des pesées précises, son débit est porté au maximum, avec des frais de main-d'œuvre très réduits; elle est construite par MM. F. L. Smidth & Co., Ltd.



Die Mühlentemperatur und die Abbindezeit der Zemente.

von K. KOYANAGI.

In einem „Mühlentemperatur und die Abbindezeit des Zements“ betitelten Artikel der in der April 1931-Ausgabe dieser Zeitschrift erschien, setzte V. M. Anžlovár seine Ansichten bezüglich des Schnellbindens von Zement infolge hoher Mühlentemperatur auseinander. Er erklärte „Da Anhydrit schwerer in Wasser als die CaSO_4 -Hydrate löslich ist, erzeugt es die erforderlichen Ionenkonzentrationen von Ca und SO_4 zu langsam, um die Hydrolyse zu verzögern. Der Abbindebeginn erfolgt daher rapid, und das Ergebnis ist ein schnellbindender Zement. Es kann jedoch kaum bezweifelt werden, dass sich Anhydrit als Ergebnis der in der Mühle erreichten Temperatur bildet.“

Herr Anžlovár mischt offenbar den Estrichgips abzüglich des löslichen Anhydrits mit löslichem Anhydrit. Wenn Gipsdihydrat auf eine Temperatur von $150-200^\circ \text{C}$ erhitzt wird, so verwandelt es sich teilweise oder gänzlich in lösliches Anhydrit, das bei weitem löslicher als das Dihydrat ist. Dieses kann aus folgenden, vom Verfasser ausgeführten Versuchen über die Löslichkeit der verschiedenen Gipsmodifikationen ersehen werden.

Von folgenden Typen wurde die Löslichkeit gemessen

Art des Gips	SO ₃ -Gehalt in %	
	bestimmt	berechnet
(1) Dihydrat	45,66	—
(2) Halbdihydrat (Dihydrat auf 130°C , 30 Minuten lang erhitzt)		
(3) Lösliches Anhydrit (Dihydrat auf 200°C , 30 Minuten lang erhitzt)	54	
(4) Weniger lösliches Anhydrit (Dihydrat auf $1,100^\circ \text{C}$, 2 Stunden lang erhitzt)		

(1289)

5 g dieser Proben wurden mit 300 ccm Wasser 15,30 und 60 Minuten lang geschüttelt und schnell filtriert. 50 ccm des klaren Filtrats wurden genommen und in diesen SO_3 bestimmt, was in CaSO_4 umgerechnet wurde. Abb. 1 (Seite 1222) zeigt die Löslichkeitskurve der Stoffe.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass der Gips im Zement teilweise in lösliches Anhydrit, wie es Abb. 1 (Seite 1222) aufweist, verwandelt war, das als Resultat der hohen Mühlentemperatur weit löslicher ist als das Dihydrat. Diese Tatsache widerlegt die Auffassung von Herrn Anžlovár.

Herr Anžlovár diskutiert auch den Artikel des Verfassers zum gleichen Gegenstande, der im „Zement“, Nr. 20 (1930) veröffentlicht wurde. Er führt aus:

(1) Der Verfasser (K) behauptet, dass die beste Gipsmenge zur Verwendung bei sämtlichen Zementen einem Werte von 0,9 bis 1,2% SO_3 entspricht.

(2) Er hat eine Beobachtung gemacht, welche dieser Behauptung direkt widerspricht, da er oft sowohl im Betriebe wie im Laboratorium festgestellt hat, dass Zemente nach etwa zwei Monaten ausnahmslos schnellbindend gewesen sind, während mit dieser Gipsmenge gemahlene unzweifelhaft sofort nach dem Mahlen normale Abbindezeiten besaßen.

Die Antwort des Verfassers dieser Zeilen ist folgende:

(1) Der Verfasser erklärte deutlich in dem zitierten Artikel, dass für jeden Zement mit seiner spezifischen chemischen Zusammensetzung eine bestimmte Gipsmenge besteht, die zugesetzt werden muss, um die längste Abbindezeit zu erhalten. Der Verfasser teilte auch die Analyse seines, kalk- und kiesel-säurereichen sowie tonerdearmen Zements mit.

(2) Es ist durchaus bekannt, dass gewisse Zemente, die normale Abbindezeit frisch nach dem Mahlen besitzen, momentanes Abbinde aufweisen nach Lagerung oder Alterung von einigen Wochen. Obwohl diese Erscheinung viel beforscht worden ist, ist der wahre Ursprung dieser noch nicht entdeckt worden. In Deutschland wird diese Art von Zement als „Umschläger“ bezeichnet. Es ist vielleicht möglich, dass der von Herrn Anžlovár erwähnte Zement zu dieser Zementkategorie gehörte.

INTERNATIONAL

“CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE”

Bezugspreise.

AUF Grund der sehr stark vermehrten Herstellungskosten von „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“ in seiner neuen Form, ist es notwendig gewesen, den Preis auf 2 Shilling für jedes Heft zu erhöhen. Der jährliche, in der ganzen Welt postfreie Bezugspreis beträgt 24 Shilling. Augenblickliche Bezieher, welche auf Grund unserer früheren Subskriptionsliste im Voraus bezahlt haben, werden so lange die Hefte zum alten Preise weiter erhalten, bis ihr gegenwärtiges Abonnement abläuft.

Der jährliche Bezugspreis ist an „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“, London, S.W.1, Dartmouth Street 20, England einzusenden, worauf die Hefte regelmässig monatlich für die Dauer des Bezugs zugestellt werden.

Eine vergleichende Untersuchung der Portlandzementindustrie in den Vereinigten Staaten von Amerika, Kanada und Gross-Britannien.—IX.

von HAL GUTTERIDGE.

Schluss.

In dieser Abhandlung wird eine Zusammenfassung der in den vorhergehenden Artikeln auseinandergesetzten Hauptpunkte hinsichtlich der gegenwärtigen Betriebspraxis bei der Portlandzementherstellung in den Vereinigten Staaten von Amerika, in Kanada und in Gross-Britannien gegeben.

Rohmaterialien.—In den Vereinigten Staaten von Amerika und in Kanada, wo es sich zumeist um harte Rohmaterialien handelt, ist es erforderlich, das Gestein zu sprengen, während in Gross-Britannien, wo es sich zumeist um weiche Rohmaterialien handelt, das Sprengen häufig nicht notwendig ist, da die Rohstoffe durch maschinelles Baggern gewonnen werden können.

Zur Zerkleinerung der harten Rohstoffe besteht das neuzeitliche Verfahren darin, den Vorkrecher über dem Sekundärkrecher zu plazieren, wobei die Siebe, welche das bereits genügend feine Material um den Nachkrecher herumleiten sollen, zwischen den Brechern angeordnet sind. Auf diese Weise wird Fliessbetrieb infolge Schwerkraft mit daraus folgenden niedrigen Betriebskosten erreicht. Diese Anordnung erfordert eine kräftigere Konstruktion als bei dem anderen Verfahren, beide Aggregate auf gleichem Niveau zu haben, doch werden die anfänglichen Mehrkosten infolge der niedrigeren Betriebskosten mehr als wett gemacht. Die Vorteile der Einschaltung eines Separators zwischen den Brechern bestehen in der Ersparnis am Kraftverbrauch, in der Reduzierung der Stückengrösse, in der geringeren Menge an Material, die durch den Nachkrecher gebrochen werden muss, und in dem Uebergang von intermittierender zu gleichmässiger Zufuhr.

Bei den weichen Rohstoffen Gross-Britanniens ist das Brechen gewöhnlich nicht nötig, da diese Materialien auf die erforderliche Mahlfeinheit durch Behandlung in einer Waschmühle zerkleinert werden können. Dort, wo Flintsteine anwesend sind, werden diese in Intervallen durch eine Tür in einer Ebene mit dem Boden der Waschmühle entfernt, während die zu grossen Teilchen, welche das Waschmühlensieb passiert haben, durch Zentrifugen ausgesondert und der Waschmühle zu weiterer Zerkleinerung wieder zugeführt werden.

Mit wenigen Ausnahmen sind daher die in den Vereinigten Staaten und in Kanada verwendeten Methoden zur Zerkleinerung der Rohstoffe nicht in Gross-Britannien anwendbar und umgekehrt, und zwar auf Grund der verschiedenen physikalischen Eigenschaften der Rohstoffe.

Nass-oder Trockenverfahren.—Bis in die letzten Jahre hinein wurde der grösste Teil des in den Vereinigten Staaten hergestellten Zements nach dem Trockenverfahren fabriziert, das im Anfang gewählt worden war, weil es auf den „Zementstein“ zugeschnitten ist, aus dem damals praktisch fast sämtlicher Zement hergestellt wurde. Mit der Ausdehnung des Zementhandels fand das Trockenverfahren auch auf andere Rohmaterialien Anwendung, doch hat seine Bedeutung allmählich zu Gunsten des Nassverfahrens, welches gegenwärtig in

den meisten Fabriken Anwendung findet, nachgelassen. Das Trockenverfahren konnte in Gross-Britannien nicht mit Erfolg verwendet werden, weil sich die Rohmaterialien nicht eignen, denn Kreiden, Mergel und Tone enthalten eine verhältnismässig derart hohe Wassermenge, dass nur von diesem Gesichtspunkte aus die Trocknungskosten zu hoch und das Trockenverfahren folglich unwirtschaftlich sein würden.

Andererseits kann das Nassverfahren auf sämtliche Materialien, sowohl harte wie weiche angewendet werden, da der Wassergehalt ohne Konsequenzen ist. Der Hauptgrund für seine vermehrte Anwendung besteht darin, dass es bessere Kontrolle über die Schwankungen in der Zusammensetzung der Rohmaterialien ermöglicht. Mit anderen Worten, das Nassverfahren liefert überlegene Verhältnisse beim Mischen gegenüber dem Trockenverfahren. Dieser Vorteil ist von grösster Bedeutung und gleicht durchaus den kleinen, wenn auch sicheren Vorteil des Trockenverfahrens hinsichtlich geringeren Brennstoffverbrauchs bei trockenen Materialien aus.

Der Ofen.—Allgemein gesprochen hat sich das Bestreben, den Drehofen in den Vereinigten Staaten zu entwickeln, dahin gerichtet, die Ofenlänge kurz und die Temperatur der Abgase auf einem Maximum zu halten, oder aber sie sogar künstlich zu steigern so, dass sie sich eignen, um in Abhitzekesseln nutzbar zu werden. In Kanada und in Gross-Britannien hat sich die Tendenz zum längeren Ofen entwickelt so, dass die nutzbare Wärme der Ofengase dem eintretenden Rohmehl übermittelt wird, während die restliche nicht sehr grosse Wärme verloren gehen darf. Die Entscheidung ist eine Frage der Wirtschaftlichkeit. Dort, wo der Brennstoff billig und bezogener Kraftstrom teuer sind, werden zusammen mit kurzen nach dem Trockenverfahren arbeitenden Öfen die günstigsten Betriebsbedingungen für Abhitzekessel erzielt. Da es in Gross-Britannien keine Fabriken, die nach dem Trockenverfahren arbeiten, gibt, fällt einer der Vorteile bringenden Bedingungen fort, und da der Strompreis nicht zu hoch ist, hat die Entwicklung zum langen Ofen tendiert, bei dem die in den entweichenden Gasen enthaltene Wärmemenge derart reduziert ist, dass es unwirtschaftlich wird, sie für irgend einen nutzbaren Zweck aufzulangen. Die maximale Ofenlänge mit Abhitzekesseln beträgt gewöhnlich etwa 53,34 m, während die Ofenlänge in Gross-Britannien und in Kanada meist zwischen 76,20 und 121,92 m liegt.

Ein in den Vereinigten Staaten bei Nassfabriken zu beobachtendes Verfahren zur Vermehrung des Wirkungsgrades des Ofens verwendet ein Filter, das etwa die Hälfte des Wassers des Schlammes vor dessen Eintritt in den Ofen extrahiert. Hierdurch ist der nach dem Nassverfahren arbeitende Ofen von der Arbeit, das extrahierte Wasser zu verdampfen, befreit, und sein Wirkungsgrad wird dadurch verbessert. Bei den weichen Rohstoffen, die im Nassverfahren in Gross-Britannien Verwendung finden, scheint keine Ursache vorzuliegen, warum das Filter nicht gleicherweise erfolgreich sein sollte, besonders dann, wenn die Brüche ziemlich weit entfernt vom Werk liegen und der Prozentsatz an Wasser im Schlamm aus Pumpgründen gesteigert werden muss.

Ein anderes Verfahren zur Steigerung des thermischen Wirkungsgrades des Ofens besteht in dem Sprühaufgabesystem. Bei diesem System wird die grösstmögliche Oberfläche des Schlammes den Ofengasen ausgesetzt, und hierdurch wird das grösste Mass des Wärmeaustausches von den Gasen auf den Schlamm erreicht. Dieses wirkt sich aus in niedriger Temperatur der Abgase, die auf einem Werk in Gross-Britannien die Grössenordnung von 98,3° C. erreicht.

Bei der Mahlung der Kohle zur Ofenbefeuerung besteht in den Vereinigten Staaten das beliebteste Verfahren in dem zentralen System, während in Gross-Britannien das Einheitssystem allgemein gebräuchlich ist. Bei dem letzteren wird die gesamte Zerkleinerung der Kohle in einer Maschine auf der Brennplattform bewirkt; es wird keine Kohle in pulverisiertem Zustande auf Lager genommen, da der Ofen sie direkt von der Maschine übernimmt. Der Kraftverbrauch ist ein geringerer, und der erforderliche Raum beträgt nur einen kleinen Teil des von dem Zentralsystem beanspruchten. Das Einheitssystem ist besser auf feine und schnelle Regulierungen der Zufuhr eingestellt, und dieser Grund allein sollte es zu ausgedehnter Anwendung in den Vereinigten Staaten empfehlen.

Die wichtigste maschinelle Verbesserung im Hinblick auf den Ofen ist die Einführung des zuerst 1922 in Gross-Britannien montierten „kombinierten Ofens und Kühlers.“ Das Einheitssystem ist von sämtlichen behandelten Ländern wegen seiner offensichtlichen Vorzüge gegenüber dem getrennten Ofen und Kehler übernommen worden. Von weniger grosser Bedeutung ist die Einführung der Rollenlager bei den Ofen in den Vereinigten Staaten anstelle der üblichen Gleitlager. Diese erlaubt die Verwendung eines kleineren Antriebmotors, der auch von weniger kostspieliger Type sein kann, da er kein hohes Drehmoment infolge statischer Reibung beim Anfahren des Ofens zu überwinden braucht.

Mahlen.—Der wichtigste neuere Fortschritt beim Mahlen besteht in der Einführung des geschlossenen Mahlkreises in die Zementindustrie. Beim offenen Mahlen passiert das gesamte Material, welches auch immer der Mahlfineitsgrad ist, sämtliche aufeinanderfolgende Stadien bei einer Zufuhrgeschwindigkeit, die allein durch die Zeit bestimmt wird, die erforderlich ist, um die grössten Teilchen auf die erforderliche maximale Endgrösse zu zerkleinern. Das Resultat besteht darin, dass viel Material unnötigerweise auf einen höheren Mahlfineitsgrad vermahlen wird als erforderlich ist, und die Gegenwart von ultrafeinem Material gibt Veranlassung zu „Polsterbildungen,“ die den Wirkungsgrad der Mahlkörper reduzieren, unnötige Kraft absorbieren und das Mass der Zufuhr begrenzen. Bei geschlossenem Mahlkreis wird sämtliches Material, das feiner als ein vorbestimmter Mahlfineitsgrad ist, aus dem Prozess an einer oder mehreren Stellen ausgesondert so, dass die „Polsterbildung“ eliminiert und die Erzeugung unnötiger ultrafeiner Teilchen vermieden wird. Das Ergebnis besteht in Reduktion der Kraftmenge, die nötig ist, um die gleiche Menge zu mahlen, oder aber in einer gesteigerten Leistung bei gleichem Kraftverbrauch.

Bis zur Gegenwart ist das Mahlen im geschlossenen Stromkreise sowohl beim Nass- und Trockenverfahren vornehmlich in den Vereinigten Staaten zur Zerkleinerung des Rohmaterials verwendet worden, und aus diesem Grunde besitzt es in Gross-Britannien nur ein sehr eingeschränktes Anwendungsgebiet, weil die meisten Rohmaterialien, die weiche sind, Mahlen nicht erforderlich machen.

Die vorhergehenden Artikel dieser Abhandlungsreihe sind in den Ausgaben von November 1930, Januar, Februar, April, Mai, Juli, September und Oktober 1931 erschienen.

Rationelle Zementmahlung.

von H. RICHARZ.

ALLE Zementfabriken haben das Bestreben, ihre Zementmühlen so einzustellen, dass mit geringstem Kraftaufwand die grösstmögliche Zementmenge tunlichst fein gemahlen wird. Scharfgebrannter Klinker ist wohl der schwerst mahlbare von den bei der Zementherstellung vorkommenden Stoffen. Deshalb kommt gerade der rationellen Zementmahlung eine so grosse wirtschaftliche Bedeutung zu. Meine sich mit der Zementmahlung beschäftigenden Ausführungen gelten auch mehr oder minder für die Feinung aller anderen in Rohrmühlen zu zerkleinernden Materialien. Ich beschränke mich auf die Behandlung der Mahlung in Rohrmühlen ohne Windsichtung und enthalte mich jeden Urteils über das Für und Wider der Zementmahlung mit Windsichtern, wenn auch dieses Problem augenblicklich in der Fachliteratur stark ventiliert wird.

Ueber Länge und Durchmesser der Zementmühlen sollen hier keine langen Betrachtungen angestellt werden. Die Mühlengrösse wird nach dem auf langjährigen Erfahrungen fussenden Rat der Maschinenfabriken, die ja auch eine gewisse Leistungsgarantie geben, gewählt. Uns interessiert hier vor allen Dingen, wie man eine gegebene Rohrmühle im Dauerbetrieb auf die höchste erreichbare Leistung bringt. Deshalb wollen wir die Bedingungen besprechen, die für die Erreichung der Höchstleistung unerlässlich sind, und fehlerhafte Gedankengänge kennzeichnen, die uns bei der Einstellung einer Mühle auf Irrwege führen können.

Bei Inbetriebsetzung einer Mühle, wird vorerst die Mühle so mit Mahlkörpern gefüllt, dass z.B. bei einer Dreikammermühle in die erste Kammer eine Mischung von Kugeln mit 90 bis 50 mm Durchmesser, in die zweite Kammer solche mit 50 bis 30 mm Durchmesser und in die dritte Kammer entweder Flintsteine oder kleine Stahlmahlkörper oder beide zusammen gegeben werden. Die Wahl der Mahlkörper für die dritte Kammer, — ob man nämlich lieber Flintsteine oder Mahlkörper aus Stahl oder eine Mischung beider verwendet, — hängt von der zur Verfügung stehende Kraft ab. Ich werde später noch auf diesen Punkt gesondert zurückkommen. Die Grösse der Mahlkörper für die erste Kammer richtet sich nach dem Grade der Vorzerkleinerung des Klinkers. Auch auf diesen Punkt werde ich noch zu sprechen kommen.

Die relative Leistung der einzelnen Kammern wird durch Siebanalysen erkannt. Man nimmt je eine Probe am Anfang der zweiten und dritten und am Ende der dritten Kammer und bestimmt die Siebrückstände auf den Sieben mit 4900 und 900 Maschen/qcm. So erkennt man den Wirkungsgrad jeder Kammer und kann auf Grund dieser Siebbefunde und der Erfahrungen, die man während der Versuchszeit macht, jede Kammer so einstellen, dass sich eine möglichst hohe Leistung der einzelnen Mühlenabschnitte ergibt. Man soll sich jedoch von diesen Siebanalysen nicht zuviel versprechen, sondern bei ihrer Auswertung grosse Vorsicht walten lassen, da das Verfahren roh ist. In sehr vielen Fällen wird seine Unvollkommenheit nicht erkannt. Infolgedessen werden Fehler gemacht, die die Mühleneinstellung stark gefährden. In der folgenden Zahlentafel ist eine Anzahl von Siebanalysen zusammengestellt, die an einer Dreikammermühle mit Siebmantel zwischen der ersten und zweiten Kammer in zwei Zeitabschnitten, während denen keine Aenderungen vorgenommen wurden, durchgeführt worden sind. Die Spalten 1 und 2 geben die Mühlenleistung und den Gesamtsiebrückstand für den Zeitraum an, an dessen Ende jeweils die Siebanalyse gemacht wurde. Die Spalten 3, 4 und 5 enthalten

die Siebrückstärde, auf dem Sieb mit 4900 Maschen/qcm, von den Proben, die am Anfang der zweiten, am Anfang der dritten und am Ende der dritten Kammer genommen wurden. In den Spalten 6, 7 und 8 finden wir die relativen Leistungen der einzelnen Kammern auf 100 bezogen. Diese Zahlen sind nach folgenden Formeln berechnet worden (im Beispiel sind die Rückstände der ersten Siebanalyse benutzt) :

$$\begin{array}{ll}
 \text{I Kammer} & \frac{(100 - 51) \cdot 100}{100 - 13.8} = 56.8 \\
 \text{II Kammer} & \frac{(51 - 32.4) \cdot 100}{100 - 13.8} = 21.6 \\
 \text{III Kammer} & \frac{(32.4 - 13.8) \cdot 100}{100 - 13.8} = 21.6
 \end{array}$$

ZAHLENTAFEL.

Mühlenleistung kg/Ps/Std	Rückstand 4900	Siebanalyse			Relative Leistunge. Kammer		
		Anfang II.	Anfang III	Ende III	I	II	III.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
21.6	11.7	51.0	32.4	13.8	56.8	21.6	21.6
25.2	12.4	64.0	40.5	13.7	41.5	27.1	31.4
25.9	12.7	57.4	39.0	13.4	49.2	21.2	29.6
26.2	10.6	54.4	40.4	12.0	51.8	15.9	32.3
28.0	12.0	61.0	43.0	18.0	17.6	21.9	30.5
26.3	11.8	70.0	47.0	17.0	36.1	27.7	36.2
26.0	10.0	57.4	41.5	14.0	49.5	18.5	32.0
26.4	11.5	56.0	29.6	5.2	46.4	27.8	25.8
27.1	13.3	53.6	37.0	12.8	53.2	19.0	27.8

Aus dieser Zusammenstellung, besonders aber aus den Zahlen für die relativen Leistungen der einzelnen Kammern, geht deutlich hervor, dass die Siebanalyse stark schwankende Ergebnisse liefert. Ich halte es daher für unbedingt erforderlich, dass man niemals das Ergebnis einer einzelnen Siebanalyse als Grundlage für etwaige Änderungen benutzt, sondern dass man stets den Mittelwert verschiedener Siebanalysen seinen Massnahmen zugrundelegt. Es muss ausserdem noch darauf hingewiesen werden, dass mit dem Stillsetzen der Materialzufuhr auch die Mühle angehalten werden muss, wenn die Siebanalysen ein einwandfreies Bild liefern sollen.

Da die Endfeinheit des Mahlgutes im Augenblick der Probenahme für die Siebanalysen nicht immer dieselbe ist, wird man häufig auch unterschiedliche Feinheitswerte in den einzelnen Mühlenabschnitten finden, sodass ein Vergleich der verschiedenen Siebanalysen auf Schwierigkeiten stösst. Daher empfehle ich in allen Fällen die Umrechnung der Siebanalysenwerte, wie ich sie in der Erklärung zur Zahlentafel angedeutet habe. So erhält man stets vergleichbare Zahlen für die relative Mahlleistung der einzelnen Kammern.

Neben der falschen Wertschätzung der Siebanalysen wird auch häufig der Fehler begangen, dass man verschiedene Massnahmen sich überschneiden lässt. In vielen Fällen werden bei der Einstellung einer Zementmühle fast täglich neue Massnahmen getroffen. Bei dieser schnellen Arbeitsweise ist es nicht möglich, das jeweilige Verhalten der Mühle einwandfrei zu erkennen. Falsche Beurteilungen werden weiteren Massnahmen zugrundegelegt. Es ist eigentlich eine ganz selbstverständliche Forderung, dass man bei groben

Untersuchungsmethoden entsprechend viele Einzeluntersuchungen durchführen muss, ehe man sich ein einwandfreies Urteil erlauben kann.

Bei Beurteilung der Mühlenleistung soll man sich nicht mit der Feststellung der Stundenleistung begnügen. Die Mühlenarbeit steht in inniger Beziehung zu der Kraft, die für diese Arbeit aufgewendet werden muss. Ueber den Wert dieses Verhältnisses macht man sich nicht selten falsche Vorstellungen. Ist z.B. der Motor zu Anfang der Versuchszeit nicht voll belastet, so kann man durch Vergrösserung der Mühlenfüllung die Stundenleistung erhöhen. Dabei steigt aber naturgemäss auch der Kraftbedarf der Mühle. Da es nun nicht so sehr darauf ankommt, eine dem höheren Kraftverbrauch entsprechende höhere Mühlenleistung zu erzielen, sondern man vielmehr das Bestreben hat, durch entsprechende Massnahmen auf eine *relativ* höhere Leistung zu kommen, muss man sich über die Stundenleistung in kg/Ps Klarheit verschaffen. Nur dieser Wert erlaubt ein einwandfreies Urteil. Seine Errechnung gestaltet sich folgendermassen: Es sei

d = Drehstromfaktor = 1,732.

$c = \cos \phi$ (angenommen zu 0,89).

m = Wirkungsgrad des Motors (angenommen zu 92%).

g = Wirkungsgrad des Getriebes (angenommen zu 98%).

f = Faktor für die Umrechnung von Kw in Ps = 1,36.

V = Volt.

A = Ampere.

Dann sind die an die Mühlenwelle abgegebenen Ps gleich

$$d \cdot c \cdot m \cdot g \cdot f \cdot \frac{V}{1000} \cdot A \text{ oder}$$

$$1,732 \cdot 0,89 \cdot 0,92 \cdot 0,98 \cdot 1,36 \cdot \frac{V}{1000} \cdot A.$$

Und die Stundenleistung in kg/Ps ist dann gleich

$$\frac{\text{Stundenleistung}}{\text{an die Mühlenwelle abgegebene Ps}}$$

Es ist zu empfehlen an dem Voltmeter jeweils die durchschnittliche wirkliche Spannung abzulesen und in die Formel einzusetzen, da im Netz nicht immer die vorgeschriebene Spannung herrscht.

Errechnet man sich so die Stundenleistung in kg/Ps, so wird man häufig finden, dass man entgegen aller Erwartung in Wirklichkeit keinen Schritt weitergekommen ist, weil eben die Leistung über den Mehraufwand an Kraft hinaus nicht gestiegen ist.

Nach diesen mehr allgemeinen Ausführungen soll uns zunächst die Mühlenfüllung beschäftigen. Fast in allen Fällen erhalten die Zementmühlen stark vorzerkleinertes Aufgabegut. Der Feinheit des Mahlgutes muss sich natürlich die Kugelfüllung der Mühle anpassen. Die erste Kammer darf nicht zu viele grosse Kugeln enthalten. Ein Viertel bis ein Drittel der Füllung muss aus grossen Stahlkugeln von rd. 90 mm Durchmesser bestehen, um die nötige Durchschlagskraft zu gewährleisten. Da diese Kammer aber auch schon einen grossen Teil der Feinmahlung übernehmen muss, darf die Grösse der restlichen Kugeln in den meisten Fällen ruhig bis zu einem Durchmesser von 50–40 mm herabgehen. Es ist also schon bei der ersten Füllung für eine geeignete Mischung zu sorgen. Später braucht man bloss noch grosse Kugeln von etwa

80 bis 90 mm Durchmesser zuzugeben, da durch den Verschleiss für das Vorhandensein der kleineren Grössen gesorgt ist. Man muss allerdings im Laufe der Zeit sein Augenmerk darauf richten, dass sich nicht zu kleine Kugeln oder Eisenstücke anreichern, die nicht mehr in der Lage sind, an der Zerkleinerung der groben Griesse wirkungsvoll teilzunehmen. Sie wirken hemmend und kraftfressend und müssen aus der Kammer herausgenommen werden. Dass die Grösse der Mahlkörper in den folgenden Mühlenabschnitten fortschreitend abnehmen muss und sich so den feineren Griessen anpassen soll, ist eine selbstverständliche Forderung. Auch hier gilt das eben Gesagte. Man soll die Mahlkörper sich bis zu einer bestimmten Grösse abnutzen lassen, soll aber bei stärkerem Rückgang der Mühlenleistung nachsehen, ob nicht zuviel Ballast sich angereichert hat, und ihn nötigenfalls sofort entfernen. Die Abnutzung der Mahlkörper gereicht oft sehr zum Vorteil, da die Mühlenleistung dadurch nicht unbeträchtlich erhöht wird. Ich habe oft die Erfahrung gemacht, dass die Stundenleistung in kg/Ps zunahm, ohne dass irgend eine Aenderung getroffen wurde, auch ohne dass das Mahlgut sich änderte, und kann diesen Umstand nur darauf zurückführen, dass die Mahlkörper sich so ab- und einschleifen, dass ein viel besserer Reibungseffekt erzielt wird, als er vorher bei den runden Kugeln zu verzeichnen war. Man kann auch oft die Beobachtung machen, dass nach Zugabe neuer Mahlkörper der Kraftbedarf steigt, die Mühlenleistung aber vorerst stehenbleibt oder gar zurückgeht. Erst nach Verlauf einiger Zeit wirkt sich die Nachfüllung durch Zunahme der Leistung aus. Auch diese Erscheinung deutet darauf hin, dass durch die Anpassung der nachgefüllten Mahlkörper an die vorhandenen die Leistungsfähigkeit der Mühle gesteigert wird.

Die Frage, ob man die Feinmahlkammer mit Flintsteinen oder Stahl in Form von Wurfeln, Kugeln oder Cylpebsen füllen soll, wird durch die Grösse der Mühle und die zur Verfügung stehende Antriebskraft entschieden. Grundsätzlich muss daran festgehalten werden, dass eine gewisse Höhe der Mühlenfüllung für eine rationelle Arbeit der Mühle erforderlich ist. Da nun eine gewisse Menge Flintsteine wegen ihres leichteren spezifischen Gewichtes einen grösseren Raum einnimmt, als dieselbe Gewichtsmenge Mahlkörper aus Stahl, wird man oft in der Feinmahlkammer Flintsteine verwenden müssen, nämlich stets dann, wenn die Antriebskraft für eine Stahlfüllung bis zur erforderlichen Höhe nicht ausreicht. Da zudem die durchschnittliche Hubhöhe einer Flintsteinfüllung geringer ist, als diejenige derselben Gewichtsmenge Stahlmahlkörper, braucht eine Tonne Flintsteine weniger Kraft, als eine Tonne Mahlkörper aus Stahl. Man kann daher mit der zur Verfügung stehenden Kraft auch gewichtsmässig mehr Flintsteine bewältigen als Stahlkörper. Und umgekehrt, will man Flintsteine durch Mahlkörper aus Stahl ersetzen, so darf man nicht dasselbe Gewicht an Stahlkörpern verwenden, da man sonst den Mühlenmotor überlasten würde. Die geringe Höhe der Stahlfüllung bewirkt überdies einen starken Leistungsrückgang. Die ausschliessliche Verwendung von Mahlkörpern aus Stahl in der Feinmahlkammer ist somit nur dann zu vertreten, wenn der Motor so stark ist, dass man auch mit diesen Mahlkörpern die erforderliche Höhe der Füllung erreicht. Selbstredend muss dabei auch auf den Bau der Mühle und die Stärke der Fundamente Rücksicht genommen werden.

Man kann sich leicht denken, dass bei reiner Stahlfüllung die Feinmahlung sehr intensiv sein wird, sodass selbst bei der Mahlung hochwertiger Zemente eine gute Mühlenleistung erreicht wird. In den zwischen den beiden Extremen —geringe und hohe zur Verfügung stehende Kraft—liegenden Fällen hilft man sich häufig damit, dass man der Flintsteinfüllung Stahlkörper in angemessener

Menge zugibt. Ob das immer eine Verbesserung der Mahlleistung bedeutet, ist nach meinen bisherigen Erfahrungen zweifelhaft.

Es genügt nicht, dass man sein Augenmerk nur auf die richtige Füllung der einzelnen Mühlenabschnitte mit Mahlkörpern richtet, man muss daneben auch den Durchtrittsmöglichkeiten des Mahlgutes durch die Zwischenwände und durch die Austrittswand am Ende der Mühle seine Aufmerksamkeit widmen. Von diesen Durchtrittsmöglichkeiten hängt es ab, ob die einzelnen Kammern entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit belastet sind, oder ob eine Kammer etwa nicht genügend mahlt, somit nicht richtig ausgenützt wird und so einen ungünstigen Einfluss auf die Gesamtleistung der Mühle ausübt. Es ist nicht immer gesagt, dass sämtliche Schlitzte, die die Maschinenfabrik in den Mühlenwänden angebracht hat, auch unbedingt offen bleiben müssen. Das gilt besonders für Mühlen, bei denen die Durchgangsschlitzte bis an den äusseren Rand der Zwischen- und Austragwände reichen. Hier kann das Schliessen von Durchlassöffnungen durch Aufnieten von Laschen oft grosse Vorteile bringen, besonders dann, wenn der Mühlenmotor schwächer ist, als es der Erreichung der mit der Mühle erzielbaren höchstmöglichen Leistung entsprechen würde. Ein Kriterium für die richtige Ausnutzung der Mahlfähigkeit der einzelnen Kammern ist der Stand des Mahlgutes über der Kugelfüllung. Das Mahlgut soll mit der Mahlkörperfüllung zum mindesten gleich stehen. Es darf auch einige Zentimeter darüber reichen. Doch nie soll man oben nur die blanken Kugeln sehen können. In einem solchen Falle muss man entweder die Mahlkörperfüllung vergrössern, oder, wenn die Antriebskraft voll ausgenutzt ist, den Austritt aus der entsprechenden Kammer drosseln. Dasselbe gilt natürlich auch für die Endkammer. Hier kommt öfters eine Drosselung durch Anbringen von Blechen vor den äussersten Austrittsschlitzten in Frage, weil das die einzige Möglichkeit ist, an einer Austragwand, die bis zum Rande mit Öffnungen versehen ist, das Mahlgut zu stauen und so die Mahlfähigkeit der Feinmahlkammer vollständig auszunutzen. Bei ungehindertem Durchtritt wird das Mahlgut leicht zu grob, sodass der Müller gezwungen ist, die Aufgabe zu drosseln. Dadurch aber wird die Mühlenleistung stark beeinträchtigt.

Bei Mühlen mit einem Siebmantel zwischen der ersten und zweiten Kammer scheint es nicht zweckmässig, die Siebfläche zu verkleinern, wenn man die erste Kammer stärker belasten will. Man kommt besser und schneller zum Ziel durch Verringerung des Durchtrittsquerschnitts der Zwischenwand.

Noch etwas ist von grosser Wichtigkeit für die Erzielung der höchstmöglichen Mühlenleistung, nämlich eine gute Durchlüftung der Mühle. Die am Mühlenende aufgestellte Entstaubungsanlage soll einen grossen Ventilator besitzen, der dauernd einen starken Luftstrom durch die Mühle zieht. Zu diesem Zwecke müssen aber auch die Eintrittsöffnung der Mühle und die Mittelöffnungen der Zwischenwände einen entsprechend grossen Querschnitt haben. Der Durchmesser der letzteren soll etwa 200 mm betragen. Der starke Luftstrom nimmt alle in der Mühle etwa sich bildenden Feuchtigkeitsschwaden auf, reisst schon einen erheblichen Teil der feinsten Körnungen in der Zement-Luft Emulsion mit in die Filteranlage und lässt die Zerkleinerungsfähigkeit der Mühlenfüllung in der trockenen Atmosphäre zur vollen Auswirkung gelangen. Es ist erstaunlich, welchen Vorteil man mit einer guten Durchlüftung der Mühlen gewinnt.

Beachtet man die im Vorhergehenden angeführten Gedankengänge, so wird man leicht seine Mühlen dahin bringen, dass sie das Aeusserste ihrer Leistungsfähigkeit hergeben.

Eine moderne Hochleistungs-Schachtofenanlage in der Tschechoslovakei.

von F. F. TIPPMANN.

DIE Firma Andreas in Münster i. Westfalen einen Hochleistungs-Schachtofen herausgebracht haben, welcher soll ein Produkt erzielen, welches qualitativ den hochwertigen Drehofenzementen ebenbürtig ist, das Anbacken vollständig ausschliessen und bei einem sehr geringen Brennstoffverbrauch Leistungen von 120-150 Tonnen täglich aufweisen. Der Ofen ist ein vollautomatischer Brennapparat. Nach meinen Informationen hat die Firma Andreas Maschinenbau-Gesellschaft m.b.H. in den letzten 2 Jahren über 70 Schachtofen-Anlagen in allen Ländern Europas errichtet. Auch zahlreiche Drehofen-Zementwerke haben ihre Werksanlagen auf einen kombinierten Drehofen-Schachtofen-Betrieb eingestellt, um allen Absatzschwankungen in wirtschaftlichster Weise zu begegnen.

Besonders rentabel gestalten sich aber auf modernster Basis errichtete kleine Zementwerke mit nur einem Hochleistungs-Schachtofen und etwa 120 Tonnen durchschnittlicher Tagesleistung, welche in örtlich richtiger Lage angelegt ihre gesamte Produktion während des ganzen Jahres mit Leichtigkeit absetzen können.

Bei dem Hochleistungs-Schachtofen System Andreas, ist das Anbacken des Brenngutes am feuerfesten Futter das bei den älteren Schachtofen welche mit Verziegelung der Rohmasse arbeiten vorkommt, dadurch begegnet, dass das angefeuchtete Rohmehl-Brennstoff-Gemisch in vollständig ungeziegelter und ungeformter Beschaffenheit dem Ofen aufgegeben ist. Gleichzeitig erfuhr damit der Ofen eine Vereinfachung, indem die übliche Pressenanlage fortfiel.

Eine hohe Leistung und hochwertige Klinkerqualität erzielte der Erfinder dadurch, dass er gemäss der altbewährten Brennerformel: „rasch brennen, rasch kühlen“ den Brenn- und Kühlprozess des Drehofens auf den Schachtofen übertrug. Um den Brennschacht herum in bestimmten Höhen sind sogenannte sekundäre Ring-Windleitungen angeordnet welche die Verbrennungs-, bzw. Kühlluft dem Ofen an jenen Stellen zuführen, wo sie aus praktischen Erwägungen am zweckdienlichsten wirkt.

Tatsächlich wird im Schachtofen in ganz schmaler Sinterzone, also rasch gebrannt, und durch sekundäre Windzufuhr unterhalb der Sinterzone sofort intensiv gekühlt. Entsprechend der grossen Ofenleistung ist auch der Durchsatz der Materialsäule im Schacht eine sehr schnelle. Dieses Brennverfahren übt einen bedeutenden Einfluss auf die mineralogische Struktur des Klinkers aus, welche der Struktur des Drehofenklinkers täuschend ähnlich ist.

Auf Abb. 2 (Seite 1232) ist die äusserliche Beschaffenheit des Klinkers (links) nach dem ungeziegelten Brennverfahren erbrannt im Vergleich zu dem Klinker des älteren Schachtofens mit Verziegelung (rechts) dargestellt. Beide Klinker stammen aus demselben Werk und aus demselben Rohmehl; die schwammig-poröse Beschaffenheit, dunklere Farbe und der intensivere Brenngrad des Klinkers zeigt auf der Abbildung einen auffallenden Gegensatz zu dem helleren, kompakten und schwerer mahlbaren, langsam gekühlten Klinker des älteren Schachtofens.

Den Einfluss des raschen Brennens und Kühlens auf die Beschaffenheit des Klinkers zeigen die Mikro-Strukturbilder. Dünnschliffe der auf Abb. 2 dargestellten Klinker bei 440-facher Vergrösserung zwischen parallelen und gekreuzten Nicols zeigen die Abb. 3a, 3b und 4a, 4b. Aus diesen Mikrostruktur-

bildern geht die gleichmässige und feinere Verteilung der Klinkermineralien, sowie die starke Anreicherung an hydraulisch aktiver Substanz beim Andreas-Klinker gegenüber dem langsam gekühlten Klinker des älteren Schachtofens ganz eindeutig hervor. In seiner Mikrostruktur steht der Andreas-Schachtofenklinker dem Drehofenklinker tatsächlich sehr nahe, worauf wahrscheinlich die qualitative Gleichstellung des Klinkers mit dem Drehofenklinker zurückzuführen ist. Wenn man bedenkt, dass heute in der Schweiz in Andreas-Schachtöfen ein Portlandzement erzeugt wird, welcher qualitativ den weltbekannten schweizer Drehofen-Zementmarken nicht nachsteht, so muss man zugeben, dass diesem Schachtofen eine grosse Bedeutung beizumessen ist.

Die qualitative Hochwertigkeit und Gleichmässigkeit des Produktes wurde aber auch dadurch erreicht, dass dem Ofen ein stets gleichmässiges und homogenes Rohmehl-Brennstoff-Gemisch zugeführt wird. Diese Aufgabe wird durch eigens zu diesem Zweck konstruierte automatische und elektrisch gekuppelte Waagen gelöst. Der allgemeine Aufbau, sowie das Arbeitsdiagramm des Schachtofens System Andreas geht aus Abb. 1 (Seite 1231) hervor: die Bezeichnung zeigt (A) Aufriss; (B) Seitenriss; (C) Arbeitsdiagramm; (1) Becherwerk; (2) Mischschnecke; (3) Zuführungsschnecken; (4) Kohlensilo; (5) Rohmehlsilo; (6) Automatische Waage; (7) Schachtofen; (8) Forderrinne; (9) Koksschnecke; (10) Kokssilo.

Verfasser hatte vor Kurzem Gelegenheit eine von der Firma Andreas errichtete Hochleistungs-Schachtofenanlage in der Tschechoslovakei im Betrieb zu besichtigen, welche im Nachstehenden an Hand einiger Bilder kurz beschrieben wird. Die Anlage wurde im Auftrage eines der ältesten Zementwerke des Kontinents, der Firma: Kurowitzer Portland- und Roman-Zement-Werke Graf Seilern & Comp. in Tlumatschau (Mähren, Tschechoslovakei) ausgeführt.

Das homogenisierte Rohmehl, sowie der Brennstoff gelangen in zwei nebeneinander angeordnete und je etwa 10 Kubikmeter fassende blecherne Behälter. Als Brennstoff dient Koksgrus von 0-5 mm Körnung, mit cca. 5800-6000 Kalorien pro Kilogramm und 15-18% Aschengehalt, welcher im Anlieferungszustande, also ohne vorhergehender Trocknung oder sonstiger Aufbereitung zur Verwendung gelangt.

Unter den Behältern stehen die automatischen und gekuppelten Waagen für Rohmehl und Brennstoff, welche mit von den Waagen selbst gesteuerten Zuteilapparaten beschickt werden. Die Waagen arbeiten äusserst präzise, sind regulierfähig und mit automatischen Zählwerken versehen. Die Leistung des Ofens und der Brennstoffverbrauch lässt sich also zu jeder Zeit in bequemster Art durch Ablesung der Zählwerke ermitteln. Die Waagen sind miteinander gekuppelt und entleeren immer gleichzeitig und gleichmässig. Zur Kontrolle der richtigen Funktion der Waagen dienen Signal-Lampen, welche auf der Gichtbühne des Ofens montiert sind und vom Brenner beobachtet werden. Abb. 5 (Seite 1233) zeigt die Rohmehlwaage, und Abb. 6 (Seite 1234) die Brennstoffwaage mit dem Kupplungsmechanismus.

Das von den Waagen entleert Rohmehl-Brennstoffgemisch wird nun von einem Becherwerk gehoben und einer spezial Misch- und Anfeucht-Schnecke zugeführt, welche über dem Ofen aufgestellt ist (Abb. 7, Seite 1235). Im ersten erweiterten Teil dieser Schnecke wird das Rohmehl-Brennstoffgemisch nochmals trocken innig gemischt; im verjüngten Teil erfolgt die Anfeuchtung mit cca. 12% Wasser und gründliche Mischung auf nassem Wege.

Die so erzielte krümmelige Rohmasse fällt nun durch den Auslauf der Mischschnecke direkt auf die Verteilerschurre der verstellbaren und reversiblen Ofen-Beschickungsvorrichtung System Andreas, welche in einer schmiedeeisernen und mit Schautüren versehenen Ofenhaube untergebracht ist

und die Rohmasse über den ganzen Ofenquerschnitt stets gleichmässig verteilt. Abb. 8 (Seite 1236), zeigt die Brennerbühne des Ofens mit der Ofenhaube und der Ofenbeschickungs-Vorrichtung. Zur Abfuhr der Ofenabgase dient der schmiedeeiserne Ofenschornstein, welcher seitlich an die Ofenhaube anschliesst.

Der eigentliche Brennschacht ist in seiner Ausführung einfach. Er besteht aus einem schmiedeeisernen Zylinder von 10 Meter Höhe ohne jeder Erweiterung oder Einschnürung und ist innen mit einem 20 cm starken feuerfesten Futter versehen, so dass der lichte Schacht-Durchmesser 2,5 Meter beträgt. Den unteren Abschluss des Brennschachtes bildet einer der bestehenden mechanisch betätigten Roste, welcher den gebrannten und gekühlten Klinker zerkleinert und in einem Trichter ansammelt. Abb. 9 (Seite 1236) zeigt den elektromotorisch betätigten Antriebsmechanismus des automatischen Rostes.

Die Austragung des Klinkers erfolgt durch die Entleerungs-Schleuse System Andreas, welche für diesen Zweck besonders durchkonstruiert ist und den Klinker selbst bei den angewandten hohen Winddrücken von 1000 mm Wassersäule luftverlust- und staubfrei, sowie gleichmässig austrägt. Abb. 10 (Seite 1237) zeigt diese in ihrer Bauart unverwüstliche Entleerungs-Schleuse System Andreas.

Die Verbrennungs- und Kühl-Luft wird von einem Hochdruckgebläse erzeugt, welches bei einem statischen Druck von 800-1000 mm Wassersäule pro Minute 180-200 Kubikmeter Luft liefert. Auf Abb. 11 (Seite 1238) ist das Hochdruckgebläse mit Antriebsmotor und Blindstrom-Kompensator zu sehen; letzterer kompensiert sämtliche Motoren der Ofenanlage derart, dass sie mit einem Leistungsfaktor von $\cos \phi = 1$ arbeiten, die ganze Anlage also kraftwirtschaftlich die höchst erzielbare Ökonomie aufweist. Ein Teil der erzeugten Luft wird dem Ofen unterhalb des mechanischen Rostes zugeführt, während ganz bestimmte Windmengen durch die sekundären Ring-Windleitungen und Spezial-Winddüsen über dem Rost eingeblasen werden. Abb. 12 (Seite 1238) stellt einen Teil des Ofenmantels mit den sekundären Ring-Windleitungen und den von der Brennerbühne aus betätigten Wind-Drosselschiebern dar.

Zur Überwachung der jeweiligen Windverhältnisse im Ofen dient ein kombiniertes und registrierendes hydrostatisches Winddruck- und Windmengen-Messinstrument, welches ebenfalls auf der Brennerbühne aufgestellt und auf Abb. 13 (Seite 1239) zu sehen ist. Druck und Menge der eingeblasenen Luft wird sowohl in der Unterwindleitung, als auch in beiden sekundären Ring-Windleitungen gemessen und registriert. Die Diagramm-Streifen dieses Instrumentes geben dem Betriebsleiter einwandfreie Übersicht über den Betrieb des Ofens und der Arbeit des Brenners.

Sämtliche Regulier- und Kontroll-Organen befinden sich auf der Brennerbühne, so dass die Bedienung des Ofens eine einfache ist.

Die durchschnittliche Leistung des Ofens beträgt pro 24 Stunden 130 Tonnen hochwertigsten Portland-Zementklinker, bei einem Brennstoffverbrauch von 18% Koksgrus, entsprechend rund 116.000 Kalorien pro 100 Kg Klinker. Der Kraftverbrauch der ganzen Anlage beträgt bei voller Leistung 80 Kilowatt. Die Bedienung besorgen 2 Arbeiter, und zwar 1 Brenner und 1 Schmierer; Letzterer ist jedoch in der Lage auch 2-3 Öfen bequem zu bedienen.

Das genannte Werk hatte vorher 12 Dietzsch'sche Schachtofen im Betrieb, welche pro 24 Stunden zusammen in der Spitze 100 Tonnen Klinker leisteten; gebrannt wurde mit teurer gasreicher Stückkante. Zur Bedienung der 12 Schachtofen waren 96 Arbeiter erforderlich. Durch die Errichtung der Hochleistungs-Schachtofenanlage System Andreas war es möglich, abgesehen von der erzielten Mehrleistung, des erheblich billigeren Brennstoffes und der Qualitätsverbesserung, Ersparnisse zu erzielen, welche allein ausreichten, um die Anschaffungskosten der Anlage innerhalb 18 Monaten abzuschreiben.

Die Rotierofenflamme u. ihre Wechselbeziehungen zu Kohle, Luft und Kohlenasche.

von O. FREY.

NEHMEN wir einen Bunsenbrenner zur Hand und entfachen wir an ihm eine Gasflamme aus Leuchtgas, so erhalten wir ein getreues Bild des Brennprozesses im Rotierofen selbst. Der Bunsenbrenner bezweize sein Rohr spielt dabei die Rolle der Ofendüse (Abb. 1, Seite 1241). Damit erhalten wir auch ein klares Bild sämtlicher Vorgänge, die sich in und um die Flamme abspielen. Natürlich ist der Verbrennungsprozess mit Hilfe des Leuchtgases ein weit einfacherer als derjenige, der sich abspielt unter Beizehung der gemahlenen Kohle. Die Leuchtgasflamme entzündet sich leicht, verbrennt an freier Luft, während die Kohlenstaubflamme einen vorerhitzten Raum verlangt, an dem sie sich entzünden kann. Dieser vorerhitzte Raum ist beim Rotierofen die Sinterzone. Im Leuchtgas haben wir ein fertiges brennbares Destillationsprodukt während im Kohlenstaub ein Brennprodukt vorliegt, das im Momente seines Eintrittes in den Ofen in zwei Phasen gleichzeitig sich entwickeln und verbrennen muss.

Im Momente des Eintrittes in den Ofen vollzieht sich momentan die Destillation der Kohle in Koks und Gase und die Verbrennung des Kokspulver zu Asche und Brenngase. Damit dieser explosionsartig erfolgende Vorgang möglich ist, ist eine bestimmte Hitze im Brennraum notwendig auch beim Anzünden eines Rotierofens. Diese Hitze muss so gross sein, dass der eintretende Kohlenstaub sich augenblicklich in Gas und Koks zerlegt und infolgedessen sich entzünden kann, unter Bildung des kontinuierlichen Brennverlaufes in der Flamme. Um diesen Zustand in der Flamme zu erzielen, sind eine ganze Reihe von Bedingungen Voraussetzung, ohne deren Einhaltung dieser Verbrennungsprozess sich nicht glatt abwickeln kann.

Vorbedingung für die richtige Flammenbildung.—Die richtige Ausnutzung des Brennstoffes ist nur dann gesichert, wenn der Kohlenstaub mit der Luft des Ventilators ein inniges Gemisch bildet in dem jedes Teilchen sozusagen frei für sich schwebend der Düse zustrebt. Dieser Zustand ist aber nur dann gegeben, wenn die Kohle ganz trocken ist und die Feinung derselben einen gewissen Feinheitsgrad erreicht hat. Ganz trocken u. fein genug ist demnach Grundbedingung. Um nun eine ganz innige Durchmischung zu erhalten ist es notwendig, dass nicht zu viel Kohle auf einmal Zutritt zum Luftstrom erhält. Zu diesem Zwecke wird der Kohlenstrom zweckmässig geteilt und durch mehrere Schnecken, etc., in kleineren Dosen zugeführt. Diese kleinen Mengen sind viel besser geeignet im Strome sich richtig aufzulösen im Moment ihres Zutrittes zur Luft.

Ist durch entsprechende Trocknung der Staubkohle das richtige Gemisch von Kohle und Luft erreicht worden, so wird die feinere Einstellung der Flamme erhalten durch eine angepasste Feinung des Kohlenstaubes, denn es leuchtet ein, dass gröbere, mittelfeine oder ganz feine Mahlung sich ganz verschieden äussern in ihrer Einwirkung im Flammenbilde und in ihrer Rückwirkung auf die bestrahlte oder bestrichene Ofenfläche. Nehmen wir zur Erläuterung ganz allgemein drei typische Mahlungen als Beispiele, nämlich grobe, mittelfeine, und feine Mahlung. Als grobe Mahlung wollen wir eine solche verstehen, die auf dem 900 Maschensiebe noch einige Prozente Rückstand ergibt und auf dem 4900 Siebe mit 15-20 Prozent Rückstand verbleibt. Als mittelfeine Mahlung sei eine solche bezeichnet, die auf dem 900 Maschensiebe mit Spuren und auf dem 4900 Siebe mit 8-10% Rückstand verbleibt. Als ganz feine Mahlung ist eine solche anzusprechen, die auf dem 4900 Siebe nur noch Spuren oder höchstens 1-2% aufweist.

Es ist nun sehr einleuchtend, dass diese verschiedenen Mahlungen sich in verschiedener Verteilung über das Flammenbild auswirken werden, was am deutlichsten sich veranschaulichen lässt durch die beigegebenen Skizzen (Abb. 2-4, Seite 1241).

Ist eine Kohle grob gemahlen, so wird beim Austritt derselben aus der Düse ein sofortiges starkes Niederfallen der Griesse auf dem 900 Maschensiebe beginnen, selbstverständlich noch völlig unverbrannt, so dass dieser Teil des Brennstoffes beim Auftreffen auf den glühenden Ofenboden sich augenblicklich entzündet und unter Aufblitzen vergast und verascht. Jedes dieser Teilchen lässt ein kleines Tröpfchen Asche zurück. Zusammen mit den Rückständen auf dem 4900 Siebe, die etwas tiefer im Ofen niederfallen, wird sich schnell ein starker Aschenansatz bilden, der grosse Dicke erreichen kann, wenn die Mahlung nicht geändert wird. Der Hauptteil des Brennstoffes wird bei der groben Mahlung zu frühzeitig niedergerissen und verpufft im Kühlraume, dessen Hitze intensiver gestaltend. Die Folge davon wird sein, dass mehr Brennstoff als notwendig verbraucht werden wird, und dass die Auskühlung im Kühlraume hintengehalten und der Klinker heisser den Ofen verlässt. Da geringere Mengen ganz feine Kohlen an die Spitze der Flamme gelangen, ist auch die Auswirkung auf die Ringbildung im Ofen geringer. Da diese Art Flammenbildung unter Benutzung von grober Staubkohle mit Brennverlusten verbunden ist und die Auswirkung sich dem Auge im Ofen sofort deutlich zeigt, wird wohl dieser Fall in der Praxis seltener vorkommen und er wird sofort behoben werden.

Der extreme Fall der zu feinen Mahlung der Staubkohle dürfte wohl viel häufiger im Betriebe vorkommen. Die zu feingemahlene Kohle wird durch die Gebläseluft in ihrer grössten Menge nach Austritt aus der Düse der Flammenspitze zugetrieben. Natürlich ist in diesem Falle und an dieser Stelle Vergasung und Verbrennung des Koksstaubes schon längst vorbei. Was die Flammenspitze bzw. den Brennkegel verlässt, ist flüssige Asche in allerfeinster Verteilung. Diese Asche wirkt in verschiedener Hinsicht auf das daherrollende Rohmehl bzw. Schwachbrand ein. Der feine flüssige Aschenregen, der sehr tief im Brennrohre zur Auswirkung gelangt, überzieht die Kügelchen mit einer zähflüssigen Aschenhaut, die ihrerseits verkittend auf diese einwirkt und im Sinterstadium die Masse zum Anhängen bringt. Es bilden sich so lagenweise kleine Schichten übereinander, die unter der intensiven Hitze der Flamme sehr stark aufschmelzen u. nach u. nach den Ring bilden, der je nach Intensität des Vorganges schmaler oder recht tief werden kann, und je nach der Art der Kohlenasche mitunter recht schnell zur ersten Störung heranwächst. Ist die Sinterhitze gerade nicht so heftig, dass Schmelzfluss eintreten kann, so verharren die Kügelchen in ihrer Form und bilden konglomeratartigen Ansatz. Im geschmolzenen Zustand dagegen verlieren sie die Form und es entstehen ganz dichte Schmelzen von grosser Härte, mit den deutlichen Zwischenlagen von Asche. (Ich sehe hier ab von Ansätzen, die durch fehlerhafte Mischung der Rohmasse entstehen). Ist in einem solchen Falle die Ofendüse auf das Material gerichtet u. nicht axial geführt, so wird die flüssige Asche durch die Schärfe des Gebläses direct in die rollende Masse hineingespritzt und ihre Wirkung verstärkt.

Zweifellos ist diejenige Feinung der Staubkohle die richtige, die im Flammenbild eine gleichmässige Zerteilung der Kohle und damit auch der Asche ergibt. Diese Feinung ist individuell und muss jeder Kohle angepasst werden. Es dürfte aber jedenfalls in den allermeisten Fällen das 900 Maschensieb bei dieser Feinung keinen Rückstand oder doch nur Spuren aufzeigen, und das 4900 wird in den Grenzen 15-25% den Rückstand haben. Die Hauptsache wird wohl immer sein, die Feinung möglichst so zu treffen, dass die extremen Fälle ausgeschaltet sind und der Aschenfall sich gleichmässig über die ganze Sinterzone verteilt unter Vermeidung jeder Anhäufung:

Bei der Flammenbildung wichtig ist natürlich die gut angepasste Ventilation des Ofens, sei es durch natürlichen Zug im Kamin oder durch künstliche Ventilation mit dem Ventilator, wobei zu bemerken ist, dass der richtig eingestellte künstliche Zug genau so wie beim Schachtofen, forciertere Gang und regelmässige Arbeit schafft. Das Flammenbild wird gestreckter und länger, was sich darin bemerkbar macht, dass die Sinterzone am natürlichen Zugverhältnissen gemessen, um 2-3 m. wächst. Dadurch dass die künstliche Ventilation ein gestrecktes Flammenbild schafft, nähert sich dieses mehr in seiner Wirkung im Ofen der Stichflamme und wird es auch sehr gut sein, diesen Moment in Rechnung zu ziehen, wobei noch besonderes Augenmerk darauf zu legen ist, ob die Düse axial oder auf das Material gerichtet ist, je nachdem verstärkt sich die Einwirkung der Flammenspitze auf das Material oder nicht.

Wichtig für die gute Flammenbildung ist die richtig dosierte Sekundärluftzuführung, die reichlich genug bemessen sein muss, damit der Brennvorgang, in der Flamme im oxydierenden Sinne erfolgt. Kontrolliert wird der Brennprozess am besten durch die Untersuchung der Rauchgase, die bei günstiger Luftzuteilung folgende Zusammensetzung haben müssen:— CO_2 , 25-26%; O, 1-2%; CO, Spuren. Damit die Flamme ununterbrochen ihren besten Verlauf nehmen kann, ist die Regulierung der zu und abströmenden Gase durch die Ventilation so zu regeln, dass im Flammenbilde keine Stockungen, etc., entstehen. Dieses Wechselspiel wird selbstverständlich durch Beiziehung künstlicher Ventilation am besten gelöst.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich auch die Notwendigkeit, die Asche der Kohle mit der Zusammensetzung des Rohmehles in Einklang zu bringen. Wenn man bedenkt, dass es, z. B., sehr stark kieselsäurehaltige Asche gibt, so wird man bei der richtigen Zusammenstellung seiner Rohmehles diesen Umstand mit in Betracht ziehen müssen, will man nicht Gefahr laufen, dass das Endprodukt ein ganz wesentlich anderes Gesicht zeigt. In ganz gleicher Weise verhält es sich bei Asche mit hohem Eisenoxydgehalt, oder Kalkgehalt, etc. Wichtig ist bei dieser Betrachtung natürlich zu wissen, wieviel von der Asche ins Rohmehl übergeht, was je nach der vorhandenen Einrichtung (Chikane, etc.), mehr oder weniger sein kann. Bei der Kettenchikane, z. B., geht die Asche quantitativ beinahe in das Rohmehl über, während bei anderen Einrichtungen dies weniger in Erscheinung tritt, da die Asche freieren Austritt hat:—

Zusammenfassend sind für eine richtige Flammenführung nachfolgende Voraussetzungen massgebend.

1. Möglichst innige Mischung von Luft u. Kohle im Momente des Zusammentrittes.
2. Möglichst trockene Kohle, ohne jede Beimischung von mech. Feuchtigkeit.
3. Möglichst gleichmässige Feinung unter Ausschluss extremer Grenzen von zu grober u. zu feiner Mahlung.
4. Möglichst gleichmässiger Winddruck bzw. Saugzug, am besten mit Zuhilfenahme von gut regulierbarem künstlichem Gebläse.
5. Verwendung derselben Kohle von derselben Beschaffenheit unter Ausschaltung von Zechenwechsel. Aschengehalt möglichst gering.
6. Luftdruckleitung möglichst nahe beim Ofen.
7. Angleichung der Aschenzusammensetzung an diejenige des Rohmehles so weit dies möglich ist.
8. Vermeidung von Luftüberschuss über die normale Grenze hinaus. (1-2% O in den Abgasen).
9. Vermeidung von zu geringer Luftzufuhr.
10. Alle die Flamme berührenden Verhältnisse sollen, wenn einmal eingestellt, keinen Aenderungen mehr unterworfen werden.

Fortschrittsberichte über Zement im Jahre 1930—II.

Von OTTO Fr. HONUS.

Zementherstellung und Verbesserung.

DIE Dwight and Lloyd Metallurgical Co.³⁷, New York, übertr. von R. W. Hyde, mischen die gepulverten Rohstoffe der Zementbereitung mit Brennstoff, gegebenenfalls mit Abfällen aus früher gleichartigen Prozessen und erhitzen auf Sintertemperatur zwischen 1000 und 1450° C, wobei eine poröse Masse entsteht, welche anschliessend bei höherer Temperatur 1200 bis 1600° C zu Zementklinker gebrannt und nachher gepulvert wird. E. J. Hume³⁸, Australien, schlägt vor, gemahlenen Kalkstein, dem die erforderliche Menge Tonschiefer oder Ton nach vorherigem Zusatz mit soviel Wasser zu versetzen, dass ein salbenartiger Brei entsteht, welcher mit dem gemahlenen Kalkstein innig gemischt, geformt und gebrannt wird. Eine Herabminderung des Wassergehaltes von Zementrohschlamm bewirkt H. Stehmann³⁹, Berlin, dadurch, dass er dem Drehofen neben der Schlammzufuhr mit soviel Trockenmehl beschickt, dass etwa die beim Trockenverfahren ohnehin in den Abgasen enthaltene Wärme zur Verdampfung des Gesamtwassers ausreicht. H. Meuris⁴⁰, Brüssel, gewinnt Schwefelsäure neben Zement durch Erhitzen eines briкетierten Gemisches von CaSO_4 , Ton, Kohle und einem Metallcarbonat, wie CaCO_3 oder FeCO_3 , wobei die gesamte Kohle noch vor Erreichen der Klinkerzone im Ofen verbrennt. Es soll dadurch die unliebsame Bildung von CaS vermieden werden. Nach E. Urbain⁴¹ erhält man Kalziumphosphat neben einem ausgezeichneten Zement dadurch, dass Feldspat mit Kaliumphosphat im elektrischen Ofen erhitzt werden, wobei P_2O_5 und K_2 entweichen, die als K_3PO_4 gewonnen werden. Zwecks Verminderung des Si-Gehaltes wird vorgeschlagen, der in dem Ofen befindlichen Schmelze Fe_3O_4 zuzusetzen, welches die Bildung von Ferrosilicium ermöglichen soll. Hydraulische Bindemittel und Schwefelsäure wollen die Kolloidchemie Studiengesellschaft m.b.H., Hamburg, und J. B. Carpzow⁴² aus natürlich vorkommenden Calciumsulfaten oder technischen Gipsabfällen und dem Schlick der Salz- und Süsswasser dadurch gewinnen, dass das innige Gemisch der Ausgangsstoffe, welches gegebenenfalls reifen gelassen wird, im Drehofen bei 800-900° C gebrannt wird.

Hochkieselsäurehaltige Zemente erhält J. Hempel⁴³, Polen, durch Erhitzen von Kalksteinen mit entsprechender Zusammensetzung und SiO_2 auf Sinter- oder nahezu Sintertemperatur. Die Zusammensetzungen können zwischen 60-70 SiO_2 , 25-30 CaO und 4-5 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ schwanken. Die aus ihnen oder aus ihren Mischungen mit Portlandzement hergestellten Erzeugnisse sind gegen Meerwasser, Säuren und Alkalien sehr beständig. Durch Mischen von kiesel-säurearmen Rohphosphaten und Stoffen, die K und Al, gegebenenfalls Kohle enthalten, wird nach A.A. Fertilizer Works, Chicago, übert. v. H. Meyers⁴⁴ ein Rückstand erhalten, der aus Calciumaluminiumsilicaten besteht und zu Zement

³⁷ U.S.A. Pat. 1746944.

³⁸ Austr. Pat. 16269/28.

³⁹ D.R.P. 498203.

⁴⁰ Engl. Pat. 324199.

⁴¹ Franz. Pat. 679827.

⁴² D.R.P. 502894.

⁴³ Franz. Pat. 686455.

⁴⁴ U.S.A. Pat. 1778224.

vermahlen wird. Die sich beim Glühen verflüchtigenden Stoffe P und K können auf Kaliumphosphat verarbeitet und dann als Düngemittel verwendet werden. Sehr gute Zemente will F. W. Huber⁴⁵ durch Brennen von Mischungen, bestehend aus Ton oder ähnlichen Al-enthaltenden Rohstoffen mit kalkhaltigen Stoffen, welche 2-3% P_2O_5 und etwas mehr als der dem vorhandenen P_2O_5 äquivalenten Menge Fe_2O_3 enthalten, bei Temperaturen von 1300 bis 1400° C im Drehofen erhalten. Um Zemente von stets gleicher Zusammensetzung zu erhalten, unterwirft die Soc. des Ciments Portland Artificiels⁴⁶ die Rohstoffe einer Behandlung, nach der die Bestandteile sich leicht trennen lassen, die dann in der erforderlichen Menge gemischt und zu Zement verarbeitet werden. $CaCO_3$ und SiO_2 enthaltende Rohstoffe werden z.B. geglüht und die Erzeugnisse windgesichtet, um CaO und SiO_2 oder Silicate zu scheiden. Zur Ermöglichung einer leichteren Umsetzung bei der Schwefelsäure-Zementherstellung aus Gips, setzt die I.G. Farbenindustrie Akt.Ges.⁴⁷ die für die Umsetzung erforderliche Kohlenmenge den Rohstoffen Gips und Ton zu, worauf mit Wasser eine pastenartige Masse, die zu Blöcken gepresst, gebrannt wird.

Die gleichzeitige Herstellung von Portlandzement und kupferhaltigen Eisen versucht J. H. Bradbury⁴⁸ durch Zusammenschmelzen einer Schlacke mit Kalkzusatz und Koks in einem Lichtbogenofen. Der verwendete Ofen war mit Magnesitziegeln ausgesetzt. Der Koksverbrauch war höher als veranschlagt. Die Reduktion von FeO war schwierig und nur vollständig wenn die Reduktion bis zur Bildung von CaC_2 getrieben wurde. Dann war auch starke Reduktion von MgO bemerkbar. Die erhaltene Schlacke zerrieselte bei langsamer Abkühlung, jedoch konnte die Zerrieselung durch Abschrecken im Wasser vermieden und dadurch ein brauchbarer Zement erhalten werden. Das erhaltene Eisen, das in Mengen von 10 bis 20% anfiel, war stark mit Si, P, Mg, Cu und C verunreinigt. Einen schwerlöslichen Mischzement erhalten D. Werner und St. Giertz-Hedström⁴⁹ aus Portlandzement und Arsenik durch Erhitzen des Gemenges auf ca. 200° C. Als bestes Mischungsverhältnis geben sie 30% As_2O_3 und 70% Portlandzement an.

Wasserdichte Zemente oder Kalke will P. Mecke⁵⁰ durch Zusatz eines trockenen Pulvers, bestehend aus NH_4 - oder Alkali-salzen, die mit Fettsäuren verrieben oder zusammengeschmolzen sind, erhalten.

Hitzebeständige Massen, welche besonders für die Innenwändeausmauerung von Öfen dienen sollen, stellen Ch. T. Riley, J. C. Lay, E. C. Clark und A. H. Cronk⁵¹ U.S.A. durch Vermischen von gemahlenen Zement mit Salz, Ton, Kalkspat und CaF_2 her.

Guy S. La Forge⁵² U.S.A. schlagen vor, der Zementrohstoffmischung ungemahlenen Zementklinker zuzusetzen, die Masse zu mahlen und glühen. Der Glühprozess wird durch die Gegenwart der mit der Rohstoffmischung gepulverten Klinker erleichtert und abgekürzt. Die British Portland Cement Manufacturers Ltd., S. G. S. Panisset und W. S. Hannah⁵³, London, gewinnen weissen Zement, indem sie die Rohstoffmischung unmittelbar nach dem Glühen mit einem Reduktionsmittel behandeln und dann so rasch abkühlen, dass keine Rückoxydation eintritt. Die Reduktion erfolgt z.B. mittels aufgeblasenen

⁴⁵ U.S.A. Pat. 1781232.

⁴⁶ Franz. Pat. 690021.

⁴⁷ Belg. Pat. 353425.

⁴⁸ Chem. Engin. Mining Rev., 22, S. 443-49, und 23, S. 27-29, 1930.

⁴⁹ Technisk Tidskr., 60, S. 41-49, 1930.

⁵⁰ D.R.P. 512876.

⁵¹ U.S.A. Pat. 1756762.

⁵² U.S.A. Pat. 1784840.

⁵³ Engl. Pat. 331584.

Kohlepulvers oder während des Einschüttens der rotglühenden Klinker in Wasser, auf dessen Oberfläche Paraffin schwimmt.

Durch Vermahlen eines Gemisches von calciniertem Gestein, das Quarz und Feldspat und einen Stoff mit grossen Gehalt an sauren Bestandteilen (SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3) enthält mit Portlandzement, will G. Imai⁵⁴, Tokio, Mischzemente erhalten. H. C. Badder⁵⁵, London, schmilzt Portlandzement oder dgl. und mischt damit Metalloxyde, Carbonate oder andere Salze, um gefärbte Zemente zu erhalten.

In einem anderen Falle erhitzt E. Urbain⁵⁶ Rohphosphat, Aluminiumsilicat, wie Feldspat und je nach der Art des verwendeten Ofens mit geringeren oder grösseren Mengen Kohle auf 400-600° C, wobei K_2O , P und CO entweichen und ein Rückstand verbleibt, der als Zement Verwendung finden kann und folgende chemische Zusammensetzung hat: 50% CaO , 20% Al_2O_3 und 30% SiO_2 .

Nach der Eddystone Cement Corp., übert. von E. R. Willner⁵⁷, New York, werden die Rohstoffe der Zementbereitung für sich auf verhältnismässig niedrige Temperaturen erhitzt, z.B. der Ton auf 800° C, Kalkstein bis zur völligen Freiheit von CO_2 , hierauf gemischt, bis zum gewünschten Feinheitsgrad gemahlen und gegebenenfalls nach Zusatz von Gips unter Rühren mit Wasser oder Dampf behandelt. Die daraus hergestellten Erzeugnisse sollen wasserdicht, luftdicht und beständig gegen Meerwasser und Säuren sein.

Tonerdezementherstellung.

Von der Soc. an. des Chaux et Ciments de Lafarge et du Teil⁵⁸ in Viviers, Frankreich, wird vorgeschlagen, fein gepulvertes CaSO_4 beliebiger Form in solcher Menge mit Aluminatzement oder mit dessen Rohstoffen zu mischen, dass im Enderzeugnis das gesamte Al als Calciumsulfoaluminat vorhanden ist. E. Urbain⁵⁹ gewinnt Wassergas, Phosphorsäure, Tonerdezement und hochaktive Kohle dadurch, dass die im elektrischen Ofen aus Al-haltigen Rohphosphat und Kohle gemäss Hauptpatent 639412 erhaltenen Gase nach Zufügung von Wasserdampf und einer Halogenwasserstoffsäure (HCl) bei ca 1000° C durch eine Schicht amorpher, poröser Kohle geleitet werden. Um die Entstehung kompakter Massen beim Erstarren des geschmolzenen Zements zu verhindern, schlägt R. S. Lewy⁶⁰ vor, das Abkühlen der geschmolzenen Masse durch Ueberleiten von Heizgasen oder überhitzter Luft zu verzögern oder dem Schmelzgut beim Austritt aus dem Ofen Klinker von Schmelzzement früherer Herstellung, Kalkzementklinker oder Hochofenschlacke zuzusetzen. In einem anderen Falle gewinnt R. S. Lewy⁶¹ einen Aluminatzement durch Mischen der Rohstoffe, denen staubfreie, etwa erbsengrosse Stücke von Kalkzement zugesetzt werden, und Brennen des so erhaltenen Gemisches bis zur Sinterung. Unter diesen Arbeitsbedingungen soll das Ofenfutter des Drehofens weniger angegriffen und das Anbacken an den Ofenwandungen verhütet werden. Nach B. Spiegel⁶² wird zwecks Herstellung von Aluminatzement der Kalk und Bauxit (letzterer mit einem Fe-Gehalt von 15—5%) nur so fein gemahlen, dass auf einem 900-

⁵⁴ Engl. Pat. 319342 und Franz. Pat. 670362.

⁵⁵ Engl. Pat. 320597.

⁵⁶ Franz. Pat. 695221.

⁵⁷ U.S.A. Pat. 1785508.

⁵⁸ Engl. Pat. 317783.

⁵⁹ Franz. Pat. 34566.

⁶⁰ Franz. Pat. 680762.

⁶¹ Franz. Pat. 680763.

⁶² U.S.A. Pat. 1775575.

Maschensieb wenigstens 15% Rückstand bleiben. Die Glühzeit muss gegenüber der Verwendung von Mischungen üblicher Feinheit verlängert werden. Die Ersparnisse bei den Mahlmaschinen sind grösser als der Mehraufwand an Brennkosten. In 2 Arbeitsgängen gewinnt die I.G. Farbenindustrie Akt. Ges.⁶³, Tonerdeschmelzzement und Phosphor. Im ersten Arbeitsgang wird beispielsweise ein Bauxit mit 65% Al_2O_3 , 20% Fe_2O_3 und 2% SiO_2 mit CaO und Kohle im Verhältnis 100 : 17 : 10 niedergeschmolzen, um das Eisen zu entfernen. Die gebildete Schlacke enthielt 80% Al_2O_3 , 19% CaO und 1% SiO_2 . Diese wird im zweiten Arbeitsgang mit Hardrock-Phosphat mit 35% P_2O_5 und 51% CaO im Verhältnis 2 : 1 in Gegenwart von Kohle niedergeschmolzen. Der erhaltene Tonerdezement enthält 48% CaO, 48% Al_2O_3 und 4% SiO_2 . Die Comp. de Produits Chimiques et Electrometallurgiques Alais, Froges et Camargue⁶⁴ schlägt vor, Gemische von Bauxit, Gips und Kohle in Mengenverhältnissen, unter denen Monocalciumaluminat und Dicalciumaluminat entstehen, bei Temperaturen von 1200 bis 1250°C zu verklinkern. W. Kyber⁶⁵ erhält Tonerdezement neben Phosphor durch Zusammenschmelzen von Al-Phosphat, CaO und Kohle. Um den Schwefel aus Rohphosphaten hergestellten Schmelzzementen unschädlich zu machen, setzt W. Kyber⁶⁶ der betreffenden Beschickung oder dem beim Brennen entstandenen Schmelzfluss MgO zu, welches Festigkeitseinbussen und die Entwicklung von gasförmigen H_2S beim Anmachen mit Wasser vermeiden soll.

Eigenschaften.

Die Einwirkung von Silicatgel zu Portlandzementmörtel auf deren Widerstandsfähigkeit gegen Sulfateinwirkung wurde von T. Thorvaldson, V. A. Vigfusson und D. Wolochow⁶⁷ untersucht. Bei Gegenwart von Ca- und Na-Sulfat übt der Zusatz von Silicatgel zu Portlandzement, der bei 100°C in Dampf abgebunden und gehartet war, einen guten Einfluss durch Verhinderung von Ausdehnung und durch Erhaltung der Zugfestigkeit aus. Dampfgehartete Mörtel mit bis zu 20% Silicatgel vom Zementgewicht, zeigten in Na- und Ca-Sulfat-Lösung etwas höhere Beständigkeit, als ebenso behandelte Mörtel ohne Gel. In MgSO_4 -Lösungen war das Gegenteil der Fall. Mörtel aus Kalk, Silicatgel und Sand verhielten sich gegen Sulfate ebenso wie Mörtel aus Zement, Gel und Sand. D. Werner⁶⁸ untersucht die Löslichkeit verschiedener Zement-sorten, indem er nach einem von ihm ausgearbeiteten Verfahren die einzelnen Proben in einen Schüttelapparat der wiederholten Behandlung mit Wasser unterwirft. In den erhaltenen Lösungen wird freies CaO, daneben auch SiO_2 , Fe_2O_3 und Al_2O_3 und $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ bestimmt und eine Verhinderung der Kalklöslichkeit durch saure Zusätze festgestellt. K. E. Dorsch und A. Deubel⁶⁹ untersuchen die Viskosität von abbindenden Zement nach der Tauchfiltermethode und zeigen alle untersuchten Zemente von 0 bis 60 Min. einen starken Viskositätsanstieg an, dem ein Gebiet konstanter Viskosität von etwa 30 Min. folgt. Hierauf steigt die Viskosität wieder langsam an. Die Erscheinungen werden in Einklang mit den Theorien über den Abbindeverlauf gebracht.

Den hydraulischen Modul durch den Kalksättigungsgrad zu ersetzen, schlägt H. Kühl⁷⁰ vor. Der Kalksättigungsgrad stellt die theoretisch höchstmögliche

⁶³ Pol. Pat. 10863. D.R.P. 483399.

⁶⁴ Franz. Pat. 678096.

⁶⁵ D.R.P. 495436.

⁶⁶ D.R.P. 511520.

⁶⁷ "Canadian Journ. Res.," 1, S. 385-99, 1929.

⁶⁸ "Technisk Tidskr.," 60, Nr. 37, Kemi S. 57-64 u. 68-72, 1930.

⁶⁹ "Kolloid-Ztschr.," 51, S. 180-86, 1930.

⁷⁰ "Tonindustrie Ztg.," 54, S. 389-92, 1930.

Kalkmenge zur Bildung der Verbindungen $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ und $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ dar und wird zweckmässig durch die Formel:

$$\text{CaO} = 2,8 \text{ SiO}_2 + 1,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ ausgedrückt.}$$

Hydratation, Abbindung und Erhärtung.

T. Thorvaldson, N. S. Grace und V. A. Vigfusson⁷¹ haben im weiteren Verlauf ihrer Arbeiten die Hydratation von Tricalciumaluminat untersucht und erhalten das Hexahydrat durch Einwirkung von Wasserdampf bei 130°C auf die Verbindung in Form kleiner Trapezoeder. Das Hexahydrat wurde auch durch Einwirkung von Wasserdampf auf ein Gemisch von $3\text{CaO} + 1\text{Al}_2\text{O}_3$ erhalten und besteht in der Hauptsache aus Würfeln. Beide Produkte geben dasselbe Röntgendiagramm. Die Löslichkeit in Wasser beträgt bei 21°C 0,0346, bei 40° 0,02689 g Anhydrid in 10 ccm Lösung. Durch Schütteln von $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ mit viel Wasser bei niedrigen Temperaturen erhalten sie ein anderes wasserreiches Hydrat, welches die von Klein u. Phillips⁷² angegebene Krystallform besitzt. Durch isothermen Abbau bei 21°C und Stehenlassen neben verschiedenen Lösungen definierter Wasserdampfension, bis zur Gleichgewichtskonstanz wurden Anzeichen für die Existenz von Verbindungen von $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ mit 12, 10,5, 9,8 und 6 Moll. Wasser gefunden. Die Lösungswärme beträgt für das 6-Hydrat bei 20° 519 cal/g Anhydrid. $= 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ und für 9,8, 10,5 und das 12-Hydrat 21 bzw. 37 bzw. 47 cal/g weniger.

Nach den Ausführungen von A. Stopoe⁷³ wirken verschiedene Trasse auf die Abbindezeit des Portlandzementes verschieden. Im allgemeinen verzögert Trass die Abbindung. Auf hochwertigem Portlandzement wirkt Trass schwächer, als auf gewöhnlichen Zement ein. Der Erhärtungsbeginn des Kuhlzementes wird durch Trasszusatz beschleunigt, während das Ende durch kleinere Zusätze verzögert wird. Der Trasszusatz übt auf Portlandzement die umgekehrte Wirkung aus, wie auf Kuhlzemente, was auch bei der Abbindezeit zu beachten ist.

H. Kuhl⁷⁴ stellt nach gemeinsamen Versuchen mit Gottfried und Thilo fest, dass Studien über Erhärtungsvorgänge in Gegenwart grosser Wassermengen nicht gemacht werden können, weil die Hydrolyse in solchen Fällen weitergeht, als im abbindenden Beton. Aufschluss hierüber geben Röntgenbilder. Da die technischen Mörtel aber schon krystallinische Substanzen enthalten, wurde zu den Versuchen eine glasige Hochotenschlacke, welche mit CO_2 -freier KOH angemacht worden war, verwendet. Nach 10 Tagen war trotz guter Festigkeiten mikroskopisch noch kein Krystall zu erkennen, was röntgenographisch bestätigt wurde und zu der Annahme führt, dass die Erhärtung als kolloidchemischer Vorgang aufgefasst werden muss. Als Ursache einer Abbindestörung findet Haegermann⁷⁵ N_2O , im verwendeten Anmachwasser. Durch Versuche von S. Stein⁷⁶ wird die Annahme Grauers bestätigt, wonach die erste Wirkung von Gips darin besteht, die durch die Hydratation frei gewordenen Alkalien zu neutralisieren. Hinzu kommt eine durch den Gipszusatz bewirkte intensive Quellung des Zementes und parallel mit dieser Quellung steigt die Festigkeit. E. Probst und K. E. Dorsch⁷⁷ stellen nach Versuchen mit verschiedenen Zementen und Leitungswasser und destilliertem Wasser fest, dass die Festig-

⁷¹ "Canadian Journ. Res.," 1, S. 201-13, 1929.

⁷² Bureau of Standards, Techn. Papers, 43, 1914.

⁷³ "Tonindustrie Ztg.," 54, S. 2, 37 u. 590, 1930.

⁷⁴ "Zement," 19, S. 262-64, 1930.

⁷⁵ "Zement," 19, S. 264-65, 1930.

⁷⁶ "Zement," 19, S. 240-41, 1930.

⁷⁷ "Zement," 19, S. 1009-11, 1930.

keitswerte verschieden, ausfallen und schlagen deshalb vor, bei Normenuntersuchungen destilliertes Wasser zu verwenden.

Nach den Untersuchungen von F. O. Anderegg und D. S. Nubell⁷⁸ über die Geschwindigkeit der Hydratation von Zementklinker, waren Zementteilchen von 15—25 μ nach 9 Monaten ungefähr abgebunden, nach 12 Monaten war die Abbindung vollständig. Teilchen von $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ von 25 μ waren nach 3 Stunden zu 75% abgebunden, solche von $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ nach 7 Tagen und solche von $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ nach 5½ Monaten. Die entsprechenden Abbindezeiten für die untersuchten Zemente liegen zwischen denen für die beiden Silicate. Im allgemeinen reagieren Mischungen von Mineralien schneller als einzelne. Dies gilt besonders für Portlandzement. Y. Shimizu⁷⁹ untersucht nach der Methode der elektrischen Leitfähigkeit die Abbindung des von ihm erfundenen Schlacken-tonerdezementes, eines Hochofenzementes und eines Eisenportlandzementes. Aus den Leitfähigkeitskurven geht hervor, dass das Abbinden und Erhärten der Schlacke durch Zement beschleunigt wird. Aus den Kurven lässt sich ein passendes Mischungsverhältnis von Schlacke und Zement ermitteln. Der Schlacken-Tonerdezement hatte die beste Festigkeit.

K. Koyanagi⁸⁰ untersucht die Hydratation des Portlandzementes und den Einfluss des Monocalciumphosphates auf die Hydratation des Zements. Die Hydratation wurde bisher meist in Gegenwart von viel Wasser und an reinen Klinkern ohne Gipszusatz untersucht. Hierdurch werden andere Verhältnisse wiedergegeben, wie in der Praxis. Gute Zemente haben überdies eine andere Hydratation als die Kalktreiber. 50 Drehofenklinker wurden mit 10 verschiedenen grossen Wassermengen angemacht und beobachtet. Krystalle von Ca-Sulfoaluminat wurden dadurch erzeugt, dass Pulver von bestem Klinker mit Wasser geschüttelt und 2-3 Stunden mit Gipslösung stehen gelassen wurden. Die Krystalle schieden sich dann als Nadeln in flockigen Massen aus. Die Klinker mussten frisch sein und unter 0,4% freies CaO enthalten. Bei Klinkern mit viel SO_3 erschienen die Nadeln nicht. Zur Auslaugung des Klinkers muss die 30-fache Wassermenge 8-14 Stunden auf ihn einwirken. Die Krystalle haben die Zusammensetzung: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5\text{CaSO}_4 \cdot 30\text{H}_2\text{O}$. Die Nadeln waren optisch negativ, einachsigt und schwach doppelbrechend. Bei gut gebranntem Klinker entstehen folgende Hydratationsprodukte: Dicke, kurze Nadeln und dünne sechsseitige Plättchen aus $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Erstere wandeln sich langsam in die Plättchen um. Bei Gegenwart von Gips bilden sich Nadeln des Sulfoaluminats, ferner eine Gelmasse und das Kalkhydrat. Kalksilicate wurden nie gefunden. Beide letzteren scheiden sich zuletzt aus. Die abbindeverzögernde Wirkung des Gipses beruht auf der Sulfoaluminatbildung. Die Erhärtung beruht auf der Abscheidung der Gelmasse aus Kalksilicat. Schlecht gebrannte Klinker hydratisieren zuerst unter Bildung von Gelmasse. Nur bei hohem Wasserzusatz treten die kurzen Nadeln des Aluminates auf. Zement mit hohem Gehalt an freiem Kalk braucht mehr Wasser zur Abscheidung von Nadeln von Aluminat. Bei Schlechtbrand scheiden sich Platten von Kalkhydrat früher aus wie bei gutem Zement, besonders bei viel freiem Kalk. Man kann diesen so in Schwachbrand erkennen. Erst nach Wochen tritt das Aluminat auf. Die Erhärtung erfolgt auch hier durch die Gelmasse.

$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ ⁸¹ stört während der Abbindung stark, nicht aber nach derselben. Die Ursache liegt in der Behinderung der Hydratation des Ca-Aluminates. Andererseits bindet es sich stark mit Kalk unter Bildung unlöslicher Phosphate.

⁷⁸ "Proc. Americ. Soc. Testing Materials," 29, Part II, S. 554-69, 1929.

⁷⁹ "Science Reports," 1/19, S. 307-14, 1930.

⁸⁰ "Journ. Soc. Chem. Ind." (Japan), Suppl. 33, 147B-53B, 1930.

⁸¹ Ebd., 276B-77B, 1930.

(Fortsetzung folgt.)

Das neue Zementwerk bei Neuwied a./Rh.

Von L. E. PERES.

VOR kurzem wurde in Neuweid eine der grössten und modernsten europäischen Zementfabriken in Betrieb gesetzt. Das Werk wurde von den Wicking'schen Portland Cement- und Wasserkalkwerken A.G. zu Münster i.W. im letzten Jahre errichtet, um die günstige Lage am Rhein mit den billigeren Wasserfrachten auszunutzen und im übrigen den vielen Abnehmern im rheinischen Bimsbecken ebenfalls eine günstige Frachtlage zu sichern, weiterhin, um für den Bezug von Trass, welcher zur maschinellen Herstellung von Trasszement in grossem Ausmasse auf diesem Werk benötigt wird, gleichfalls frachtgünstig zu liegen. Die gesamte Durchführung der Projektierung, lag in der Hand der Andreas-Maschinenbaugesellschaft m.b.H.

Das Kalkstein-Rohmaterial wird aus Steinbrüchen bei Oppenheim gewonnen und dort in Spezial-Hammerbrechern bereits vorgebrochen und dann zum Rhein in Silos gefördert, von welchen aus in denkbar kürzester Frist die Schiffe beladen werden können. Der Ton kommt aus Brüchen in der Nähe von Koblenz, wo er im Bruch selbst in mehreren Rührwerken aufgeschlämmt und dann mit einer Rohrleitung in aufgeschlämmter Form in ein Tankschiff gefördert wird.

Die Entladung des ankommenden Kalk-Rohmaterials geschieht mit einem grossen, drehbaren Entladekran, der die ganze Schiffslänge selbst der grössten Rheinkähne bestreichen kann. Der Greifer des Entladekranes wirft das Material in einen 5 cbm Elektro-Hängewagen, welcher mit grosser Geschwindigkeit fahrend, dasselbe in ein riesiges Rohmateriallager abwirft, so dass selbst bei Hochwasser und Eisgang genügend Vorrat da ist, um eintretende Schwierigkeiten im Antransport des Materials auszugleichen. (Abb. 1 u. 2, Seite 1250.)

Der Ton wird aus dem Spezial-Tankschiff mittels Zentrifugalpumpe in ein besonderes Tonlager gepumpt und kann die Entladung eines solchen Schiffes innerhalb einer Stunde vor sich geben. Der Tonschlamm selbst wird in Lagerzisternen mit besonderen Rührvorrichtungen nach Bedarf durchgeführt.

Die Materialentnahme aus dem Kalkstein-Rohmateriallager erfolgt mittels eines Greiferkranes, welcher direkt die Vorbehälter der Nass-Verbundmühlen beschickt. Letztere sind so gross ausgebildet, dass sie für eine Achtstundenschicht ausreichen. (Abb. 3 u. 5, Seiten 1250, 1252.)

Das Gebäude für 2 Nassmühlen von 2,2 m und 14 m Länge ist mit dem für 2 gleichgrosse Zementmühlen so verbunden, dass die Beaufsichtigung der ganzen Mahlapparat für eine Tagesleistung von über 1000 t durch einen Mann erfolgen kann.

Die beiden Zementmühlen genügen, um im Rahmen einer Tagesleistung von 1000 t und mehr, nicht nur den normalen Zement mit einem Rückstand von 10-12% auf dem 4900er Sieb, sondern auch den Spezialzement und Trasszement mit einem viel geringeren Rückstand von 2-4% auf dem Sieb mit 4900 Maschen pro qcm zu mahlen.

Der Transport des Rohschlammes von den Mühlen zu den Schlammsilos geschieht mittels Zentrifugalpumpen. Die Durchmischung des Schlammes geschieht in den Schlammsilos zur Erzielung einer absolut gleichmässigen Mischung.

Zum Brennen des Zementes sind 2 grosse Nassdrehöfen von 3,3 m und 63 m Länge vorhanden, welche mit Kohlenstaub befeuert werden. Die Abgase passieren mit einer Temperatur von annähernd 250° eine dahintergeschaltete elektrische Staubkammer, welche von der Lurgi-Apparatebau-Gesellschaft in Frankfurt a.M. errichtet wurde. Hinter dieser Staub-

kammer sind 2 grosse Exhaustoren angeordnet, welche die gereinigten Abgase in 2 Betonschornsteine von 60 m Höhe und 3,3 m lichtigem oberem Durchmesser fördern. Es wird auf diese Weise eine Reinigung der Abgase vom Staub bis zu 99% erzielt und dadurch eine Belästigung der Umgebung in vollkommenster Form vermieden.

Die Kohlenaufbereitung geschieht in einer besonderen Anlage. Die Kohle kommt per Schiff an, wird mittels eines Entladekranes, der um 360° drehbar angeordnet ist, aus dem Schiff entnommen und dann auf ein Förderband gegeben, welches sie zu den Rohkohleensilos transportiert. Aus denselben wird die Kohle automatisch abgezogen und hierbei Flammkohle und Magerkohle in entsprechendem Verhältnis, genau nach Bedarf, eingestellt. Das Gemisch passiert dann eine Kohlentrockentrommel und eine dahinter geschaltete Kohlen-Verbundmühle von 1,8 m und 13 m Länge, welche für eine stündliche Leistung von 20 t und mehr bei einem Siebrückstand von ca. 6% auf dem 4900er Maschensieb ausreicht und auch für eine spätere Vergrösserung der Produktion genügt. (Abb. 4, Seite 1251.)

Infolge der betriebssicheren Konstruktion dieser Verbundmühle konnte von der Aufstellung einer Reserve-Verbundmühle für Kohle Abstand genommen werden.

Die Förderung des gebrannten Klinkers geschieht in Schüttelfinnen und Becherwerken zu den Klinkersilos. Aus den Silos wandert der Klinker dann wiederum in Förderrinnen zu den beiden Zementmühlen.

Bei der Anlage sämtlicher Gebäude, Silos, etc., ist von vornherein auf eine bedeutende Erweiterung des Werkes Rücksicht genommen worden. Aus diesem Grunde erscheint das Werk zurzeit auf den ersten Anblick noch nicht so zusammenhängend disponiert, wie es unter Berücksichtigung des späteren völligen Ausbaues sein wird.

Die Verpackung und Verladung bot insofern Schwierigkeiten, als gleichzeitig die Verpackung von Papier oder Jute Säcken und Fässern für den Versand per Schiff, per Bahn oder per Auto vorgenommen werden sollte.

Die Verpackung der Säcke geschieht mit der sogenannten Ventilsack-Füllmaschine System Andreas, mit welcher ein Mann in der Stunde bis zu 1000 Sack bei absolut genauen Gewichten füllen kann. Die Verpackung der Fässer geschieht mit einer vollautomatischen Fasspackmaschine System Andreas, mit welcher ein Mann in der Stunde bis zu 100 Fass füllt. (Abb. 6, Seite 1253.)

Der Abtransport der Säcke geschieht mit Bändern, entweder direkt in die Waggonen oder aber zu den Hängepritschen der Elektrohängebahnen für den Versand per Schiff. Der Abtransport der Fässer geschieht automatisch vom Fassrüttelwerk über einen Rollgang zu einer automatisch arbeitenden Fass-Schliessmaschine, und von dieser wiederum über Rollgänge und Hängepritschen für die Elektrohängebahn zum Schiff.

Die Elektrohängebahn läuft also durch die Sackpackerei, wie auch durch die Fasspackerei. Sie wurde gewählt, weil es hierdurch am einfachsten und wirtschaftlichsten möglich ist, über das ganze Schiff hinweg zu fahren, ohne dasselbe verholen zu müssen und dabei gleichzeitig das Schiff an verschiedenen Stellen ohne grosse Beanspruchung, insbesondere der Papiersäcke, beladen zu können. Ausserdem gestattet die Elektro-Hängebahn in einfachster und billigster Weise eine spätere Erweiterung.

Der Bahnanschluss liegt zwischen der Sackpackerei und der Fasspackerei, so dass von beiden Seiten aus die Maschinen in die Waggonen arbeiten können. Ausserdem ist in der Fasspackerei eine besondere Verladerampe für automatischen Transport vorgesehen.

Für die heutige Gesamtleistung des Werkes von über 1000 t sind im Werk selbst inclusive Werkstatt, Laboratorium, Meister, etc., nur 160 Leute beschäftigt.



La temperatura de los molinos y el tiempo de fraguado de los cementos.

por K. KOYANAGI.

En un artículo titulado "La temperatura de los molinos y el tiempo de fraguado de los cementos" que fué publicado en el número de abril de 1931, de esta Revista, V. M. Anzlovar expresaba su opinión relativa al fraguado rápido del cemento en los casos de elevada temperatura en los molinos. Decía: "Como quiera que la anhídrita se disuelve en el agua con mucha más dificultad que los yesos hidratados, resulta que produce la necesaria concentración de iones de Ca y de SO_4 con demasiada lentitud para impedir la hidrólisis; el fraguado hace su aparición al cabo de breve tiempo, proporcionando así un cemento de fraguado rápido. No cabe duda alguna, sin embargo, de que la elevada temperatura que se produce en el interior de los molinos origina la anhídrita."

Mr. Anzlovar parece mezclar el yeso de enlucir (anhídrita menos soluble) junto con la anhídrita soluble. Cuando el yeso dihidratado se calienta a la temperatura de 150°C. a 200°C. , se transforma total o parcialmente en anhídrita soluble, que es, desde luego, mucho más soluble que el dihidrato. Esto se comprueba por medio de los siguientes experimentos, que sobre la solubilidad de diversas variedades de yeso ha llevado a cabo el autor.

Las muestras cuya solubilidad fué medida eran las siguientes:

Variedad de yeso.	Contenido de SO_3 en %.	
	Medido.	Calculado.
1. Dihidrato	45,66	—
2. Semihidrato (dihidrato calentado a 130°C. durante 30 minutos)	53,72	53,98
3. Anhídrita soluble (dihidrato calentado a 200°C. durante 30 minutos)	57,09	57,52
4. Anhídrita menos soluble (dihidrato calentado a $1,100^\circ \text{C.}$ durante dos horas)	57,63	57,52

(1313)

Se tomaron 5 gramos de dicha substancia, y se agitaron con 300 cm³ de agua durante 15, 30 y 60 minutos, filtrando luego rápidamente. Se tomaron luego 50 cm³ del filtrado clarificado, y se analizaron para determinar el SO₃, que fué calculado en forma de CaSO₄. La fig. 1 (v. pág. 1222) representa las curvas de solubilidad de las substancias.

No cabe duda de que el yeso contenido en el cemento se transforma en parte en anhidrita soluble, que como indica la fig. 1 es mucho más soluble que el dihidrato, y tal transformación es resultado de la elevada temperatura del molino. Este hecho contradice las opiniones de Mr. Anžlovár.

Mr. Anžlovár discute también el artículo del autor que sobre el mismo tema fué publicado en "Zement" (No. 20 de 1930), cuando dice:

(1) El autor afirma que la cantidad más favorable de yeso a emplear en toda clase de cementos corresponde a 0,9/1,2% de SO₃.

(2) Ha llevado a cabo una observación directamente contradictoria a esta afirmación, ya que con frecuencia ha comprobado en la fábrica y en el laboratorio que cementos molidos con la cantidad anterior de yeso, con fraguado indudablemente normal cuando se hallan recién molidos, se transforman en cementos de fraguado rápido al cabo de unos dos meses, sin excepción.

El autor contesta a estos puntos en la forma siguiente:

(1) El autor manifestó claramente en el artículo aludido que para cada cemento, y de acuerdo con su composición química especial, existe una cantidad bien definida de yeso, que es la que hay que agregar para que el tiempo de fraguado sea máximo. El autor daba, asimismo, el análisis de su cemento, que es alto en cal y sílice y bajo en alúmina.

(2) Es bien sabido que determinados cementos que tienen un fraguado normal cuando están recién molidos, adquieren un fraguado relámpago después de haber sido conservados en un almacén, o de haber envejecido durante algunas semanas. Aunque se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre este fenómeno, todavía no se ha descubierto su verdadero origen. En Alemania esta clase de cemento se llama "Umschlaeger"; el cemento a que se refiere Mr. Anžlovár puede ser que pertenezca tal vez a esta clase.

ANUNCIOS.

Todos los encargos de anuncios en CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE deben dirigirse a "Concrete Publications, Limited," 20, Dartmouth Street, London, S.W., Inglaterra.

Todo texto de anuncios debe ser entregado en estas oficinas a mas tardar el día último del mes precedente a la publicación. Si para dicha fecha no se ha recibido un nuevo texto, los editores se reservan el derecho de que no aceptan responsabilidad alguna acerca de su exactitud.

Si los anuncios han de publicarse en mas de un idioma, el anunciante debe suministrar los textos traducidos. Si se desea, los editores se cuidarán de dicho trabajo de traducción, pero solamente en la inteligencia de repetir el texto anterior.

Estudio comparativo de la industria del cemento Portland en los Estados Unidos de Norteamérica, en el Canadá y en el Reino Unido.—IX.

por HAL 'GUTTERIDGE.

Conclusion.

ESTE artículo es un resumen de los puntos principales expuestos con más detalle en los artículos precedentes, acerca de los procedimientos más recientes de la fabricación del cemento Portland en los Estados Unidos de Norteamérica, en el Canadá y en el Reino Unido.

Primeras materias.—En los Estados Unidos de Norteamérica y en el Canadá, donde las primeras materias generalmente son duras, es necesario volar o arrancar la piedra con explosivos; en cambio, en el Reino Unido, siendo las primeras materias por lo general blandas, no es frecuente tener que recurrir a los explosivos, y tales primeras materias pueden ser extraídas con excavadoras mecánicas.

El método moderno para desmenuzar las primeras materias cuando se trata de piedra dura consiste en disponer la primera trituradora encima de la trituradora secundaria, colocando entre ambas trituradoras los tamices o cribas destinados a desviar el material que haya llegado ya a suficiente grado de finura, con el fin de que no tenga que pasar por la trituradora secundaria. De esta manera, el material circula por la acción de su propio peso, y el coste de la explotación queda reducido en consecuencia. Esta disposición exige una estructura más sólida, que la de disponer las dos máquinas al mismo nivel, como también suele hacerse en otros casos, si bien el suplemento de gasto inicial queda de sobras compensado con la reducción en el coste de su funcionamiento. Las ventajas de la introducción de un separador entre las dos machacadoras son: la economía de fuerza absorbida por ellas y la reducción de tamaño de la segunda trituradora, a causa de ser menor la cantidad de materias que tiene que triturar; además, se tiene la ventaja de una alimentación más regular en lugar de una alimentación intermitente.

Debido a lo blandas que son las primeras materias en el Reino Unido, suelen ser innecesarias las machacadoras; tales primeras materias pueden ser reducidas a la finura deseada con sólo tratarlas en un molino desleidor. Cuando en ellas se encuentran cantos rodados éstos deben ser separados periódicamente por una abertura con esclusa situada en el fondo del molino desleidor; las partículas de tamaño excesivo que pasan a través del tamiz del molino desleidor son separadas por centrifugación y devueltas a dicho molino desleidor para ser trituradas convenientemente.

Por consiguiente, y a excepción de un reducido número de casos, los métodos usados para desmenuzar las primeras materias en los Estados Unidos y en el Canadá no son aplicables al Reino Unido y viceversa, a causa de la diferencia entre las propiedades físicas de tales primeras materias.

Comparación entre los procesos de vía seca y vía húmeda.—Hasta muy recientemente, la mayor parte del cemento que en los Estados Unidos se fabricaba era producido por vía seca, proceso que fué adoptado en los primero-

tiempos, porque era el más adecuado a la " piedra de cemento," de la que casi todo el cemento se extraía en aquella época. Al ir creciendo el mercado del cemento, se aplicó también la vía seca a otras primeras materias, pero su importancia ha ido gradualmente disminuyendo en favor de la vía húmeda, que es en la actualidad la adoptada en la mayor parte de las fábricas. El proceso de vía seca no podría ser aplicado convenientemente en el Reino Unido, por causa de lo inadecuado de las primeras materias, pues las gredas, margas, y arcillas contienen una proporción tan elevada de agua, relativamente, que únicamente por este concepto ya el coste de la desecación sería excesivamente elevado y el proceso de vía seca resultaría consiguientemente antieconómico.

La vía húmeda, en cambio, puede ser aplicada a toda clase de materiales, tanto si son blandos como si son húmedos, ya que la proporción de agua que puedan contener no tiene trascendencia alguna. La razón principal para su creciente adopción es la de permitir un mayor control sobre las variaciones de composición de las primeras materias; en otros términos, la vía húmeda ofrece condiciones finales de homogeneización superiores a las que se obtienen por la vía seca. Esta ventaja es de la mayor importancia, y compensa inmediatamente la ligera, aunque bien definida, ventaja, que existe en favor de la vía seca, de su menor consumo de combustible cuando se trabaja con primeras materias secas.

El horno.—Hablando en términos generales, la tendencia del progreso del horno rotatorio en los Estados Unidos de Norteamérica ha sido la de mantener los hornos dentro de una longitud prudencial, conservando en su valor máximo la temperatura de los gases de escape, y aun aumentándola artificialmente, con el fin de aplicarlos a las calderas de recuperación de calor. En el Canadá y en el Reino Unido la evolución de los hornos ha sido en sentido de emplear mayores longitudes, con lo cual el calor útil de los gases del horno se cede al material crudo que va entrando en el horno, abandonándose el resto del calor que pasa a la descarga a baja temperatura. La mayor economía es lo que debe decidir en cada caso. En los puntos en que el combustible es barato, y la corriente eléctrica tiene que comprarse a precio elevado, y al mismo tiempo se trabaja con hornos de vía seca, siempre de poca longitud, el cuadro de condiciones que se reúne es el más adecuado para las calderas de calor perdido. Como en el Reino Unido no hay fábricas que trabajen por vía seca, falta ya una de tales circunstancias ventajosas, y como el precio de la corriente tampoco es excesivo, de aquí que la evolución del horno haya sido hacia unidades de mayor longitud, en las que la cantidad de calor de los gases de escape es tan reducida que resulta antieconómico aprovecharla para cualquier fin práctico. La máxima longitud de los hornos destinados a llevar calderas de recuperación es ordinariamente de unos 54 m., en tanto que la longitud de los hornos en el Reino Unido y en el Canadá suele ser de 76 a 122 m.

En los Estados Unidos, puede observarse un sistema, empleado en las fábricas de vía húmeda con objeto de aumentar el rendimiento del horno, utilizando a tal fin un filtro que separa aproximadamente la mitad del agua contenida en la pasta, antes de que ésta entre en el horno. De esta manera el horno de vía húmeda queda relevado de tener que vaporizar el agua extraída, y su rendimiento se aumenta en proporción. Con los materiales blandos empleados en el Reino Unido para la vía húmeda no parece existir razón alguna para que los filtros no den tan buenos resultados como allí, especialmente cuando las canteras o yacimientos se hallan a cierta distancia de la fábrica, y el tanto por ciento de agua de la pasta tiene que ser aumentado para facilitar su transporte por medio de bombas y tuberías. Otro de los métodos que sirven para aumentar el rendi-

miento térmico del horno es el sistema de alimentación por "surtidores." En este sistema se expone a la acción de los gases del horno la pasta con una gran superficie, y por consiguiente se obtiene la rapidez máxima de intercambio de calor entre los gases y la pasta. Esto se refleja en la baja temperatura de los gases de escape, hasta el punto de que en una de las fábricas del Reino Unido se ha llegado a unos 200° C.

Uno de los sistemas más en boga en los Estados Unidos para la pulverización del carbón destinado al mechero del horno es el sistema "Central"; en cambio, en el Reino Unido se usa más generalmente el sistema "Unit." En este último método, la totalidad de la trituración del carbón se efectúa en una sola máquina, que va en la misma plataforma del calcinador; no hace falta almacenar carbón ya pulverizado, puesto que el horno es alimentado directamente por la máquina. La energía consumida es menor, y el espacio requerido se reduce a una pequeña porción del necesario para el sistema "Central." El sistema "Unit" es más adecuado para obtener regulaciones rápidas y de precisión de la alimentación, y esto sólo ya lo recomendaría para un uso más amplio en los Estados Unidos.

El perfeccionamiento mecánico más importante relativo al horno es la introducción del "horno y enfriador combinados," instalado por primera vez en el Reino Unido en 1922. El aparato integral así formado ha sido adoptado por todos los países que estamos considerando, a causa de sus evidentes ventajas sobre los grupos de horno y enfriador independientes. Es ya de menor importancia la adopción, en los Estados Unidos, de cojinetes de rodillos para el horno en lugar de los cojinetes sencillos usuales. Esto permite el empleo de un motor de menor potencia, que además puede ser de un modelo menos costoso, al no estar destinado a vencer el alto par de arranque debido al rozamiento estático al poner en marcha el horno.

Molturación.—El más importante de los recientes adelantos en materia de molturación estriba en la introducción del molido en "circuito cerrado" en la industria del cemento. Cuando la molturación se efectúa en "circuito abierto," todo el material, sea cual fuere su grado de finura, pasa por todas las fases consecutivas a una velocidad de alimentación regulada únicamente por el tiempo empleado en reducir a polvo las partículas mayores. El resultado es que gran parte del material se muele innecesariamente a mayor grado de finura que el requerido, y además la presencia de cierta cantidad de material ultrafino produce un efecto de "almohadillado" que reduce la eficacia de los elementos molturadores, absorbe energía innecesariamente, y limita la velocidad de la molturación. Con la molturación en "circuito cerrado," todo el material que posee ya un determinado grado de finura es retirado del proceso, en uno o más puntos, de manera que se elimina el efecto amortiguador o de "almohadillado," evitándose la producción de partículas de finura excesiva e innecesaria. El resultado de ello es una reducción de la potencia necesaria, a igualdad de cantidad de material molido, o bien un aumento de producción para un mismo consumo de energía.

Hasta el presente, la molturación en circuito cerrado, tanto para vía seca como para vía húmeda, ha sido aplicada en gran escala en los Estados Unidos para la preparación del crudo, por cuyo motivo en el Reino Unido ha tenido un campo muy restringido, ya que la mayor parte de las primeras materias, siendo de naturaleza blanda, no requieren aquella molturación.

Molido racional del cemento.

por H. RICHARZ.

TODAS las fábricas de cemento se esfuerzan en lograr que sus molinos de cemento se hallen afinados de manera tal que, con el consumo mínimo de energía rindan la máxima cantidad posible de cemento a la mayor finura que les sea dable. El clinker muy intensamente cocido es, desde luego, la materia de más difícil molturación de todas las que intervengan en la fabricación del cemento. Por consiguiente, la molturación racional del cemento adquiere desde este punto de vista una gran importancia económica. Todas las manifestaciones relativas a molturación del cemento pueden aplicarse asimismo, en mayor o menor grado, a la molturación fina de todos los demás materiales que haya que moler en refinados tubulares. Me limitaré a tratar aquí de la molturación en refinados tubulares sin separador de aire, reservándome todo juicio en pro o en contra de la molturación del cemento con separadores de aire, aun cuando este problema sea objeto de intensa polémica en las publicaciones técnicas actuales.

No nos alargaremos en consideraciones acerca de la longitud y diámetro de los molinos de cemento. Las dimensiones de los molinos se escogen a base de los consejos de las fábricas de maquinaria, cuya larga experiencia en la materia constituye indudablemente una segura garantía de su rendimiento. Ante todo, lo que nos interesa aquí es establecer de qué manera se puede hacer que un molino tubular determinado logre el máximo rendimiento de que sea capaz, en funcionamiento permanente y duradero. En consecuencia, discutiremos acerca de las condiciones indispensables para el logro del máximo rendimiento, y señalaremos las interpretaciones equivocadas que nos podrían conducir a establecer un funcionamiento erróneo de un molino.

Al poner en marcha un molino, se empieza por llenarlo con elementos molturadores en forma adecuada; así, por ejemplo, en un molino de tres cámaras, poniendo en la primera cámara una mezcla de bolas de 50 a 90 mm. de diámetro; en la segunda cámara de 30 a 50 mm. de diámetro; y en la tercera cámara, ya bolas de sílex, ya pequeños elementos molturadores de acero, o ambos a la vez. La elección de los elementos de molturación destinados a la tercera cámara (es decir, el dar la preferencia al empleo de sílex o de elementos molturadores de acero, o bien a una mezcla de ambas clases de elementos) depende de la fuerza de que se disponga. Mi deseo es tratar después con más detalle este punto de un modo especial. El tamaño de los elementos molturadores de la primera cámara dependerá del grado de trituración previa del clinker. También sobre este punto pienso tratar de nuevo más abajo.

La producción relativa de cada una de las cámaras se averigua por medio de los análisis al tamiz. Se extrae una muestra del principio de las cámaras segunda y tercera, y otra del fin de la tercera cámara, y se determinan los residuos al tamiz, analizando dichas muestras sobre los tamices de 4900 y de 900 mallas por centímetro cuadrado, respectivamente. De esta manera se averigua el grado de eficacia de cada cámara, y a base de los resultados obtenidos con los tamices y de la experiencia que se va adquiriendo durante los períodos de ensayo, se puede ir afinando cada cámara, de manera que cada una de las secciones del molino llegue a rendir su producción más elevada posible. No obstante, no conviene prometerse demasiado a base de estos análisis al tamiz, antes bien hay que servirse de ellos con suma precaución, porque el método es muy basto. En muchísimos casos, no es posible darse cuenta de su imperfección. A consecuencia de todo ello, se cometen errores que perjudican mucho la afinación del molino. En la tabla numérica que damos a continuación, se han

recopilado diversos análisis al tamiz que fueron llevados a cabo en un molino de tres cámaras con tamiz envolvente entre las cámaras primera y segunda, en dos períodos de tiempo diferentes, sin que entre uno y otro se introdujese variación alguna. Las columnas 1 y 2 dan la producción del molino y el residuo total al tamiz para intervalos de tiempo al final de cada uno de los cuales se hacían los análisis correspondientes. Las columnas 3, 4 y 5 contienen los residuos que sobre el tamiz de 4900 mallas por centímetro cuadrado daban las muestras extraídas a la entrada de la segunda cámara, a la entrada de la tercera cámara y al final de esta última. En las columnas 6, 7 y 8 se encuentran las producciones respectivas de cada una de las cámaras, referidas a 100. Estas cifras han sido calculadas según las fórmulas que se dan a continuación (en el ejemplo se han utilizado los valores de los residuos al tamiz en el primer análisis) :

$$\text{Cámara I} \quad \frac{(100 - 51) \cdot 100}{100 - 13,8} = 56,8$$

$$\text{Cámara II} \quad \frac{(51 - 32,4) \cdot 100}{100 - 13,8} = 21,6$$

$$\text{Cámara III} \quad \frac{(32,4 - 13,8) \cdot 100}{100 - 13,8} = 20,6$$

TABLA NUMÉRICA.

Producción del molino kg/C V.-hora (1)	Residuo 4900 (2)	Análisis al tamiz			Producciones relativas, Cámara.		
		Principio II (3)	Principio III (4)	Final III (5)	I (6)	II (7)	III (8)
24,6	11,7	51,0	32,4	13,8	56,8	21,6	21,6
25,2	12,4	64,0	40,5	13,7	41,5	27,1	31,4
25,9	12,7	57,4	39,0	13,4	39,2	21,2	29,6
26,2	10,6	54,4	40,4	12,0	51,8	15,9	32,3
28,0	12,0	61,0	43,0	18,0	47,6	21,9	30,5
26,3	11,8	70,0	47,0	17,0	36,1	27,7	36,2
26,0	10,0	57,4	41,5	14,0	49,5	16,5	32,0
26,4	11,5	56,0	29,6	5,2	46,4	27,8	35,8
27,1	13,3	53,6	37,0	12,8	53,2	19,0	27,8

De esta recopilación, y sobre todo de las cifras correspondientes a las producciones relativas de cada cámara, resulta manifiestamente que el análisis al tamiz suministra resultados que fluctúan considerablemente. Por lo tanto, considero absolutamente indispensable que nunca se emplee como base de eventuales modificaciones, el resultado de un análisis al tamiz aislado, sino que siempre tales medidas tienen que basarse en un valor medio, obtenido sobre numerosos análisis al tamiz. Además, es necesario indicar que, cuando se interrumpa la alimentación de material, es preciso parar el molino, pues de lo contrario los análisis al tamiz no responderían a la realidad.

Como la finura definitiva del material molido, en el momento de la extracción de la muestra para los análisis al tamiz, no es siempre la misma, será frecuente hallar diferentes valores para dicha finura en cada una de las secciones del molino, cosa que constituye una dificultad para la debida comparación de los diferentes análisis al tamiz. Recomiendo, por consiguiente, en todos los casos, referir los valores obtenidos en los análisis al tamiz a una misma base, tal como lo he explicado en el comentario de la tabla numérica precedente. De esta manera se obtienen siempre cifras comparables para expresar la capacidad molidora relativa de las diferentes cámaras.

Además de la interpretación errónea de los valores de los análisis al tamiz, es frecuente también el cometer equivocaciones en las disposiciones que se toman a consecuencia de la misma. Muchos son los casos en que dichas disposiciones, relativas a la afinación de un molino de cemento, se modifican casi diariamente. Con esta forma rápida de operar no es posible poderse dar cuenta del modo de conducirse el molino a base de cada una de las disposiciones tomadas. Un juicio equivocado acerca de dicho comportamiento conduce a nuevas disposiciones erróneas. Es, pues, una necesidad evidente que, cuando se emplean métodos poco precisos de investigación, se efectúen numerosas investigaciones individuales antes de basar sobre ellas un juicio definitivo.

Para dictaminar acerca de la capacidad de producción de los molinos, no hay que contentarse con la determinación de la capacidad horaria de los mismos. El trabajo de un molino se halla en íntima dependencia del consumo de energía empleada en dicho trabajo. No es raro el establecer hipótesis equivocadas acerca del valor de dicha dependencia o relación. Si, por ejemplo, al principio del período de ensayos el motor no va totalmente cargado, puede suceder que, al aumentar la carga del molino, aumenten las producciones horarias. Con ello aumenta también, naturalmente, el consumo de fuerza del molino. Ahora bien, como lo que más importa no es lograr un aumento de la producción del molino a costa de un mayor consumo de energía, sino más bien procurar, mediante disposiciones adecuadas, la obtención de una mayor producción relativa, es necesario poner en claro la capacidad de producción horaria en kilos por C.V. Únicamente este valor permitirá formarse un juicio o dictamen adecuado. Su cálculo se efectúa en la forma siguiente:

Sea:

d = factor de la corriente alterna = 1,732.

$c = \cos. \phi$ (que supondremos igual a 0,89).

m = grado de rendimiento del motor (que supondremos igual a 92%).

g = Grado de rendimiento del mecanismo (que suponemos del 98%).

f = Factor para la reducción de Kws. en C.V. = 1,36.

V = Volts.

A = Amperes.

En estas condiciones el número de C.V. en el eje del molino será:

$$d.c.m.g.f. \frac{V}{1000} \cdot A \quad \text{o bien}$$

$$1,732 \cdot 0,89 \cdot 0,92 \cdot 0,98 \cdot 1,36 \cdot \frac{V}{1000} \cdot A$$

La capacidad de producción horaria expresada en kg/C.V. tendrá entonces un rendimiento de $\frac{\text{Capacidad horaria}}{\text{C.V. en el eje del molino}}$.

Es de recomendar leer cada vez en el voltímetro la tensión eficaz media y aplicarla a la fórmula ya que no siempre se dispone de la misma tensión en la red alimentadora.

Calculando en esta forma el rendimiento de la producción en kg./C.V. se observará frecuentemente que, contra lo que se suele esperar, en realidad no se adelanta ningún paso, porque el rendimiento no aumenta, dado que, al aumentar la capacidad productora, también sube el consumo de fuerza.

Después de estas consideraciones de carácter general, dedicaremos atención a la carga de los molinos. En casi todos los casos, los molinos de cemento reciben el material previamente triturado en grado bastante elevado. La finura del material molido tiene que ser, naturalmente, adecuada a la carga de bolas

del molino. La primera cámara no debe contener bolas demasiado grandes. Una cuarta parte o una tercera parte de la carga tiene que estar formada por bolas grandes de acero de un diámetro aproximado de 90 mm., para lograr en esta forma la energía de choque necesaria. No obstante, como esta cámara tiene que llevar a cabo ya una gran parte de la molturación fina, el tamaño de las bolas restantes debe decrecer en la mayor parte de los casos hasta un diámetro de 50 a 40 mm. Así, pues, conviene disponer una adecuada mezcla de tamaños, desde la primera carga de bolas. Posteriormente, sólo es necesario ir agregando bolas de 80 a 90 mm. de diámetro, puesto que el desgaste natural ya se encarga de ir reponiendo las bolas de tamaños inferiores. Sobre todo, conviene en el curso del tiempo prestar atención a que no se agreguen bolas o cuerpos molturadores de hierro demasiado pequeños, que por su exiguo tamaño no se hallan en condiciones de desmenuzar los fragmentos de material demasiado grandes. Tales elementos entorpecen y absorben energía, siendo conveniente, por lo tanto, extraerlos de la cámara. Constituye, pues, una necesidad evidente que los tamaños de los cuerpos molturadores de las diversas secciones del molino vayan decreciendo progresivamente, y se adapten de este modo a los fragmentos del material, que cada vez son más finos. A cada una de dichas secciones puede aplicarse lo dicho para la primera. Así es que puede permitirse que los elementos molturadores vayan desgastándose hasta alcanzar un tamaño determinado; pero vigilando, en el caso de que el rendimiento del molino retroceda marcadamente, para comprobar si no va cargado con excesiva cantidad de lastre inútil, en cuyo caso es necesario aliviarlo. El desgaste de los elementos molturadores viene a constituir muchas veces una ventaja, porque gracias a él el rendimiento del molino puede ser aumentado de manera no despreciable. He hecho con frecuencia la comprobación de que el rendimiento de la producción horaria, expresado en kg/C.V., aumenta sin que intervenga causa alguna de modificación, y sin que varíe tampoco el material que se muele, pudiendo únicamente atribuirse esta circunstancia a que los elementos molturadores se desgastan y se adaptan a la consecución de un rozamiento más perfecto que el que proporcionaban las bolas bien esféricas que existían precedentemente. Puede observarse también con frecuencia que, al introducir nuevos elementos molturadores en el molino, crece en consumo de energía, en tanto que la producción más bien permanece estacionaria, o llega incluso a descender. Pero, al cabo de algún tiempo, después de reponer las bolas, se empieza a notar el crecimiento de la producción. Este fenómeno significa también que, al adaptarse debidamente los elementos molturadores nuevamente añadidos a los antes existentes, la capacidad de producción del molino experimenta un aumento.

La cuestión de si la cámara de refino debe cargarse con sílex o con elementos de acero de forma de cubos, bolas, o cylpebs, debe decidirse de acuerdo con las dimensiones de los molinos y con la energía de que se disponga para accionarlos. Como principio fundamental, conviene establecer que el funcionamiento o trabajo racional del molino exige una determinada altura de la carga del molino. Ahora bien, una carga determinada de elementos de sílex, a causa de su peso específico más reducido, ocupa un volumen mayor que si la misma carga (en peso) fuese de elementos de acero, por lo cual, en muchas ocasiones convendrá emplear sílex en la cámara refinadora, especialmente en los casos en que la energía disponible para el accionamiento del molino no sea suficiente para accionar a éste, cargado de elementos de acero hasta la altura necesaria. Como resulta que la altura media a que hay que elevar cada elemento de sílex de la carga es menor que aquélla a que habría que elevar el mismo peso de elementos molturadores de acero, resultará

que una tonelada de sílex exigirá menor consumo de energía que una tonelada de elementos de acero. Por consiguiente, con la fuerza de que se disponga se podrán poner en movimiento mayores pesos de elementos de sílex que de elementos de acero, y recíprocamente, si se substituyen los sílex por elementos de acero no se podrá emplear en la carga igual peso de ellos, ya que de lo contrario el motor del molino marcharía sobrecargado. Al ser menor la altura de la carga de elementos de acero, se origina una disminución bastante marcada de la capacidad productiva. El empleo exclusivo de elementos molturadores de acero en la cámara refinadora sólo, pues, podrá ser aceptado en los casos en que el motor sea suficientemente potente para que no haya inconveniente en llenar la cámara con dichos elementos hasta la altura necesaria. No hay que decir que es preciso, también, que la construcción del molino y sus cimentaciones sean suficientemente fuertes para ese aumento de potencia que se les exige.

No es difícil comprender que, con una carga de bolas de acero solas, la molturación fina se intensificará mucho, de manera que, aún en el caso de tener que moler cementos de alto valor, se logrará un elevado rendimiento en producción del molino. En los casos intermedios, comprendidos entre ambos extremos (en que la energía disponible es muy baja o muy abundante), se recurre muchas veces a mezclar elementos de acero en cantidad prudencial y adecuada con los elementos de sílex. Resulta bastante dudoso, según las experiencias que he tenido ocasión de realizar, el que esto dé lugar a una mejora del rendimiento de la molturación.

No basta dedicar la atención necesaria a que las secciones del molino tengan su carga adecuada de elementos molturadores, sino que es preciso, también, procurar con todo el interés que la salida del material que pasa de una a otra cámara, a través de los tabiques intermedios, o que se descarga al extremo del molino, se efectúe debidamente. De que esto se realice así depende el que cada cámara trabaje con la carga correspondiente a su capacidad de producción, o bien que vaya inadecuadamente cargada, con lo cual no muele bien, su capacidad molturadora no es aprovechada debidamente, y tal efecto se traduce en un factor desfavorable, que influye en la capacidad total de producción del molino. No es un principio invariable que todas las ranuras o aberturas que de fábrica se dejan ya en los tabiques de los molinos hayan forzosamente de estar siempre abiertas. Esto conviene tenerlo presente, sobre todo, para molinos cuyas ranuras o rendijas llegan hasta el mismo borde de los tabiques intermedios o finales de descarga. Puede suceder que el cerrar aberturas de paso por medio de parches remachados pueda ofrecer ventajas, especialmente cuando el motor del molino es más débil de lo que convendría para obtener de dicho molino el rendimiento máximo en producción. Puede servir de norma, para el debido aprovechamiento de la capacidad de molturación de cada cámara, el nivel que alcanza el material dentro de la misma y por encima de la carga de bolas. Dicho material debe, como mínimo, quedar enrasado con la carga de bolas. Incluso es conveniente que la cubra con algunos centímetros. No conviene nunca que queden al descubierto las superficies de las bolas, al observarlas desde la parte superior. Si así sucede en algún caso, convendrá, o bien aumentar la carga de elementos molturadores, o bien, si se ha llegado ya al límite de la fuerza disponible, extrangular la descarga o salida de la cámara correspondiente. Lo mismo puede decirse, como es natural, de la cámara final. En ésta conviene muchas veces extrangular o cerrar las ranuras de salida al exterior, aplicando a ellas parches de plancha, por ser éste el único modo de retener en el interior de la cámara el material, que de otro modo escaparía por las aberturas alargadas

hasta el mismo borde, y en dicha forma aprovechar mejor la capacidad molturadora de la cámara de refino. Si la salida del material no encuentra obstáculo alguno, suele suceder que dicho material salga poco molido; en tal caso, el molinero viene obligado a restringir la alimentación, y entonces, naturalmente, se merma de un modo considerable la capacidad de producción del molino.

En los molinos que tienen una envolvente tamizadora entre la primera y la segunda cámara, no parece oportuno reducir la superficie de tamizado en los casos en que se quiera cargar más la primera cámara. Se logra la misma finalidad mejor y más rápidamente reduciendo la sección de salida del tabique intermedio.

Aun es de mayor importancia, para el logro de la máxima capacidad de producción y el máximo rendimiento del molino, una buena aireación o ventilación del mismo. Si al extremo del molino se monta una instalación de captación de polvo, tiene que formar parte de ella un potente ventilador que aspira constantemente una fuerte corriente de aire a través del molino. A este fin, es necesario también que las aberturas de entrada del molino, así como las aberturas de los tabiques intermedios, tengan una sección de paso del tamaño adecuado. El diámetro de las últimas debe ser de unos 200 m. La fuerte corriente de aire arrastra fuera del molino el vaho o humedad que del material se desprende; se lleva consigo una importante parte del material de mayor finura, en forma de emulsión aire-cemento, que pasa al filtro depurador y permite que la capacidad de molturación correspondiente al grado de llenado del molino alcance su plena eficacia en una atmósfera más seca. Resulta sorprendente la mejora que puede obtenerse en un molino mediante una buena ventilación.

Teniendo presente todas las ideas y consejos que dejamos expuestos, se conseguirá fácilmente que los molinos rindan el máximo de sus respectivas capacidades de producción.

Una fábrica moderna de hornos verticales de alta producción en Checoeslovaquia.

por F. F. TIPPMANN.

La compañía Andreas, de Munster, Westfalia,* ha construido un horno vertical de alta producción, que según se afirma rinde un producto de calidad equivalente al cemento de alta resistencia hecho en hornos rotatorios, y que remedia el inconveniente de la adherencia del material al revestimiento. Además, con un consumo de combustible sumamente bajo, el horno tiene una capacidad de producción diaria de 120 a 150 toneladas. El horno es un aparato de cocción completamente automático. La casa Andreas Maschinenbau G.m.b.H., en los últimos dos años ha montado más de 70 hornos verticales de esta clase en todos los países de Europa, en tanto que muchas fábricas de hornos rotatorios han adoptado una combinación de horno vertical y horno rotatorio, con objeto de responder eficazmente a las necesidades de la demanda cuando experimenta fluctuación. Las fábricas de cemento pequeñas, a base de un solo horno vertical de alto rendimiento, con una producción media de unas 120 toneladas, demuestran ser sumamente ventajosas cuando se hallan

* Esta casa actualmente se ha fusionado en lo referente a maquinaria para la fabricación del cemento con la casa Krupp-Grusonwerk, A.G., de Magdeburgo, Buckau.

emplazadas acertadamente, de manera que exista salida fácil para toda su producción en todas las épocas del año.

En el horno vertical de alto rendimiento Andreas, la adherencia del material al revestimiento, observada en los antiguos modelos de hornos verticales que trabajaban con las primeras materias moldeadas en forma de briquetas, es evitada alimentando el horno con la mezcla de crudo y combustible sin moldear ni formar briquetas. Esto da por resultado una simplificación, ya que no hace ya falta la instalación corriente de moldeo de briquetas. La elevada producción de clinker de alta calidad ha sido alcanzada mediante la aplicación al horno vertical de la antigua fórmula de cocción del horno rotatorio: "Rápida cocción y rápido enfriamiento." Dispuestas alrededor de la cuba del horno, y a determinadas alturas, se hallan las entradas de los tubos anulares del llamado "aire secundario," que introducen el aire para la combustión o para la refrigeración por aquellos puntos donde tiene la máxima eficacia, desde el punto de vista práctico.

La estrecha zona de clinkerización del horno garantiza una rápida cocción, y la introducción del aire secundario debajo de la zona de clinkerización proporciona un enfriamiento inmediato y rápido. El paso de la columna de material por el horno es, por consiguiente, muy rápido, obteniéndose de este modo una elevada producción.

Este proceso de cocción tiene un efecto considerable sobre la estructura mineralógica del clinker, que resulta semejante al clinker de horno rotatorio, en tal grado que resulta muy difícil distinguir uno de otro. La fig. 2 (véase pág. 1232) representa la comparación de dos muestras de clinker: el de la izquierda es el clinker Andreas, y el de la derecha el clinker obtenido con un modelo antiguo de horno vertical, que emplea el sistema del moldeo en briquetas. Estos dos clinkers fueron producidos en la misma fábrica y con el mismo material crudo. La estructura esponjosa y porosa, de color más oscuro, y la cocción más intensa del clinker Andreas, forman un vivo contraste con el clinker más compacto, de color más claro, enfriado lentamente y de molturación más difícil producido en el horno antiguo.

El efecto de la rápida cocción y enfriamiento sobre las propiedades del clinker se manifiesta en su microestructura. Las figuras 3a, 3b, 4a y 4b (véase pág. 1232) representan secciones delgadas de los clinkers de la fig. 2, con un aumento de 440 diámetros, vistas a través de nicoles paralelos y cruzados. Estas microfotografías indican de modo bien definido la estructura más homogénea de los minerales que forman el clinker moderno y su mayor riqueza en componentes hidráulicamente activos, cuando dicho clinker se compara con el obtenido en el tipo antiguo de horno vertical con su lento enfriamiento. La microestructura del clinker es sumamente semejante a la de un clinker de horno rotatorio, por lo que es lógico que, como consecuencia de ello, las propiedades de ambos sean también semejantes. Cuando se piensa que en Suiza existe hoy día algún horno vertical Andreas, que está produciendo cemento Portland de calidad no inferior a los acreditados cementos suizos de horno rotatorio, no hay más remedio que admitir la gran importancia de este horno.

La elevada calidad y alta resistencia, así como la uniformidad del producto de este horno, son también debidas a que el horno se alimentó con una mezcla uniforme y homogénea de crudo y combustible. Este resultado es alcanzado gracias a una máquina pesadora automática y de construcción especial, acoplada eléctricamente. El plan general de la instalación y el diagrama o esquema de trabajo del horno vertical Andreas se detallan en la fig. 5 (véase pág. 1233). La leyenda correspondiente a la fig. 5 es la siguiente: (A), alzado; (B), sección;

(C), esquema de trabajo; 1, elevador; 2, tornillo mezclador; 3, tornillos alimentadores; 4, silo de carbón; 5, silo de crudo; 6, báscula automática; 7, horno vertical; 8, transportador; 9, tornillo de coke; 10, silo de coke.

El autor vió recientemente un horno vertical Andreas de alta producción, funcionando en una fábrica de Checoslovaquia, que describiremos brevemente. Su construcción fué iniciada por cuenta de una de las más antiguas fábricas de cemento del Continente europeo, la fábrica de cemento Portland y cemento natural de Kurowitz, de Count Seilern & Co., en Tlumatschau (Moravia, Checoslovaquia). El crudo homogeneizado y el combustible se vierten en dos recipientes de plancha metálica de unos 10 m³ de capacidad, dispuestos uno al lado de otro. Se usa como combustible menudos de coke, de 0 a 5 mm. de tamaño, cuyo contenido de cenizas es del 15 al 18%, y cuyo poder calorífico es de 5800 a 5000 calorías; este combustible se emplea tal como llega, sin necesidad de desecación previa ni de otra preparación alguna.

Debajo de los recipientes en cuestión están las máquinas pesadoras de crudo y de combustible, que se cargan por medio de aparatos de distribución accionados por las mismas máquinas. El trabajo de los pesadores se efectúa con gran precisión y puede ser arreglado para pesos diferentes; estos aparatos van provistos de contadores automáticos. De este modo, el rendimiento del horno y el consumo de combustible pueden ser rápida y fácilmente obtenidos en cualquier momento con sólo la lectura de los contadores. Las máquinas pesadoras van enlazadas entre sí, y se descargan simultáneamente y con uniformidad. El correcto funcionamiento de estos pesadores se controla por luces señaladoras montadas en la plataforma del horno y a la vista del calcinador. La fig. 1 (véase pág. 1231) representa el pesador del crudo, y la fig. 6 (véase pág. 1234) el pesador del combustible y el mecanismo de acoplamiento.

La mezcla de crudo y combustible es elevada desde las máquinas pesadoras hasta un tornillo mezclador y humectador especial, situado encima del horno (fig. 7, véase pág. 1235). En la primera porción, que es la más ancha, de este tornillo de mezcla, los componentes son íntimamente mezclados en seco. En la porción más estrecha son humedecidos con un 12% aproximadamente de agua y amasados de nuevo una vez húmedos. La mezcla granulada así obtenida cae, a través de una tolva y un conducto, en el tornillo de distribución de la alimentación del horno, tornillo que es graduable y reversible y se halla alojado en la caperuza de hierro forjado del horno, provista de una puerta de inspección. Por medio de este aparato de alimentación la mezcla se distribuye uniformemente sobre la totalidad de la sección transversal del horno. La fig. 8 (véase pág. 1236) representa la plataforma del horno con la caperuza y alimentación del mismo. Los gases de escape son conducidos hacia afuera por la chimenea de hierro forjado que sale de uno de los costados de la caperuza del horno.

La cuba del horno propiamente dicha es de construcción sencilla. Está formada por un cilindro de hierro forjado de 10 m. de altura, sin ninguna zona ensanchada ni estrechada. Va forrada con refractario de 20 cm. de espesor, de manera que el diámetro efectivo del horno viene a ser de algo más de 2,50 m. El extremo inferior de la cuba de cocción está cerrado por una parrilla de accionamiento mecánico de tipo corriente, que desmenuza el clinker cocido y enfriado, y lo lleva a un recipiente de forma de embudo que lo recoge. La fig. 9 (véase pág. 1236) representa el mecanismo accionado eléctricamente de la parrilla automática.

El clinker es extraído por un sistema Andreas de cierres de descarga, que ha sido especialmente construido a este fin. Aun cuando se emplea el aire a una elevada presión, de 1000 mm. de columna de agua, no hay pérdida ninguna

de aire, y el clinker sale completamente exento de polvo, siendo descargado con perfecta uniformidad. La fig. 10 (véase pág. 1237) representa el sistema Andreas de cierres o esclusas de descarga, de una construcción solidísima.

El aire necesario para la combustión y el enfriamiento es suministrado por un compresor que proporciona de 180 a 200 m³ por minuto, comprimiéndolo a una presión de 800 a 1000 mm. de columna de agua. La fig. 11 (véase pág. 1238) representa el compresor y el motor de accionamiento para el mismo, equipado con un compensador de fase. Este último sirve para la compensación de todos los motores de la instalación, haciendo que trabajen con un factor de potencia $\cos. \phi = 1$, con lo cual toda la instalación de la fábrica marcha con la máxima economía de fuerza posible. Parte de este aire es introducido en el horno por debajo de la parrilla automática, en tanto que se introducen cantidades adicionales determinadas por los tubos anulares del aire secundario, y por boquillas especiales que descargan por encima de la parrilla.

La fig. 12 (véase pág. 1238) representa parte de la envolvente del horno con los anillos de suministro del aire secundario y las válvulas de cuello accionadas desde la plataforma del calcinador. Las condiciones en que se verifica el suministro de aire vienen indicadas por un instrumento que registra automáticamente la presión hidrostática del aire y su cantidad. El instrumento va instalado en la plataforma del calcinador, tal como se indica en la fig. 13 (véase pág. 1239). Mide y registra no sólo la presión y cantidad de aire que entra en el horno por la parrilla, sino también del que entra por los dos tubos anulares que suministran el aire secundario. Las indicaciones de este instrumento proporcionan a la dirección una vigilancia imparcial de la marcha del horno y del trabajo del calcinador.

Todos los mandos e instrumentos necesarios para el funcionamiento del horno se hallan dispuestos en la plataforma del calcinador, de forma que la manipulación del horno resulta sencilla.

La producción media diaria (24 horas) es de 130 toneladas de clinker de cemento Portland de alta calidad, con un consumo del 18% de menudos de coke, que viene a corresponder aproximadamente a 116.000 kilocalorías por 100 kg. de clinker. El consumo total de energía de la instalación, trabajando a plena carga, es de 80 kilovattios. Sólo se necesitan dos operarios, un calcinador y un engrasador; este último puede cómodamente servir dos o tres hornos.

La fábrica descrita tenía en marcha anteriormente 12 hornos Dietz, para obtener una producción máxima de 100 toneladas de clinker cada 24 horas en total. Se quemaba carbón ordinario, alto en volátil y caro, necesitándose para los 12 hornos 96 operarios. Al instalar el horno vertical de alto rendimiento fué posible, aun prescindiendo del aumento de producción, del combustible mucho más barato y de la mejor calidad del producto, llevar a cabo economías que permitieron a la Dirección amortizar el coste de la instalación en 18 meses.

Aviso.

Todos los artículos publicados en "CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE" en cualquier idioma, son de absoluta propiedad, y no pueden reproducirse en otras revistas, ni en forma de catálogos, sin el permiso de los propietarios, Concrete Publications, Limited, 20, Dartmouth Street, Westminster, London, Inglaterra.

La llama del horno rotatorio y sus relaciones mutuas con el carbón, el aire y las cenizas.

por O. FREY.

TOMEMOS un mechero Bunsen y produzcamos con él una llama de gas del alumbrado, y lograremos una fiel imagen del proceso de cocción en el horno rotario. El mechero Bunsen y su tubo representan en este caso respectivamente el papel de la tobera o mechero del horno (fig. 1, véase pág. 1241). Obtenemos así también una clara representación de todos los procesos que se desarrollan en la llama. Naturalmente, el proceso de combustión a base del gas del alumbrado es mucho más sencillo que el correspondiente al carbón pulverizado. La llama del gas del alumbrado se enciende fácilmente, arde al aire libre, en tanto que la llama del carbón pulverizado requiere un local previamente calentado para poderse encender; en el horno rotatorio esta cámara caliente está formada por la zona de clinkerización. En el gas del alumbrado tenemos un producto de destilación ya dispuesto para la combustión, en tanto que en el polvo de carbón sólo disponemos de un producto combustible que, en el momento de su entrada en el horno, tiene simultáneamente que disociarse en dos fases y arder.

En el momento de la entrada en el horno, se efectúa instantáneamente y de modo completo la destilación del carbón, produciéndose coke y gases, y al mismo tiempo tiene lugar la combustión del polvo de coke, que se convierte en cenizas y gases de la combustión. Para que este proceso instantáneo, semejante a una explosión, pueda tener lugar, es indispensable que exista en la cámara de combustión una determinada temperatura, cosa que se observa al encender un horno rotatorio. Esta temperatura necesita ser tan grande que el polvo de carbón se disocie instantáneamente en gas y coke, y pueda, en consecuencia, encenderse, para que tenga lugar la continuidad del proceso de combustión en la llama. Para lograr dicha estabilidad de la llama, se requieren una serie de condiciones, sin las cuales dicho proceso de combustión no puede desarrollarse con suavidad y sin interrupciones.

Condición previa para que la llama se forme debidamente.—El debido aprovechamiento del combustible sólo queda asegurado cuando el polvo de carbón forma una mezcla íntima con el aire inyectado por el ventilador, mezcla en la cual cada partícula llega al mechero flotando libremente en el aire. Esto, sin embargo, sólo puede conseguirse a condición de que el carbón esté bien seco, y que mediante el molido se haya conseguido un determinado grado de finura. Por consiguiente, la condición fundamental es la de desecar bien y moler suficientemente fino. Luego, para obtener una mezcla bien íntima, es preciso que no llegue a la corriente de aire demasiado carbón de una vez. Para este fin, la afluencia de carbón se subdivide oportunamente y por medio de varios tornillos alimentadores, etc., que lo hacen llegar en pequeñas porciones. Estas pequeñas cantidades son mucho más adecuadas para diluirse convenientemente en el aire, tan pronto como se incorporan a la corriente del mismo.

Cuando se logra, gracias a la debida desecación del carbón pulverizado, una mezcla conveniente de carbón y aire, conviene acabar de ajustar la llama mediante la elección de una finura adecuada del polvo de carbón, porque es evidente que, según la molidura deje el polvo de carbón con una granulación relativamente gruesa, semifina o muy fina, se obtendrán efectos completamente diferentes en la forma de la llama y su influencia sobre las superficies del horno

que reciben su radiación o su contacto directo. Tomemos como aclaración tres ejemplos típicos de molturación, perfectamente generales, de molturación gruesa, semifina y fina. Consideramos como molturación gruesa la que deja todavía un cierto tanto por ciento de residuo sobre el tamiz de 900 mallas, y de un 15 a un 20% de residuo sobre el de 4900. Designaremos por molturación semifina la que deja sólo indicios de residuo sobre el tamiz de 900 mallas, y de un 8 a un 10% sobre el de 4900; y consideraremos como molturación muy fina aquella que sólo deja sobre el tamiz de 4900 mallas indicios de residuo, o a lo más, de un 1 a un 2%.

Es muy significativo, y aclara mucho las ideas, el que estas diferentes molturaciones influyan en la diferente distribución de la formación de la llama, cosa que puede verse con toda claridad en los esquemas que se acompañan (figs. 2 a 4, véase pág. 1241).

Si un carbón se muele relativamente grueso, tan pronto como sale de la boca del mechero, se produce una intensa precipitación de las partículas de tamaño mayor que el tamiz de 900 mallas, que evidentemente se hallan todavía totalmente sin quemar, con lo cual esta fracción del combustible, al caer sobre el fondo incandescente del horno, se enciende instantáneamente, se gasifica e incinera casi en forma de explosión. Cada una de esas partículas deja un depósito de un pequeño copo de ceniza. Junto con las partículas de tamaño superior al tamiz de 4900 mallas que se precipitan en el horno algo más adelante, forman rápidamente una gruesa costra de cenizas, cuyo espesor puede llegar a adquirir verdadera importancia; si la molturación no se modifica, la parte principal del combustible, en el caso de molturación gruesa, se precipita demasiado pronto, y el calor producido repercute en el enfriador, cuya temperatura se mantiene demasiado elevada. La consecuencia de ello será un consumo de combustible mayor que el necesario, dificultando el enfriamiento del tambor enfriador, y haciendo que el clinker abandone el horno a temperatura más elevada. Como en la punta de la llama hay pequeña cantidad de carbón fino, el efecto sobre la formación de anillos en el horno es también menor. Como esta clase de llama, formada por carbón pulverizado demasiado grueso, trae consigo pérdidas de combustible, y sus consecuencias pueden apreciarse a simple vista en el horno con toda claridad y de modo inmediato, rara vez se dará este caso en la práctica, y aun cuando así suceda será de modo pasajero.

Mucho más frecuente suele ser, en la práctica, el otro caso extremo, de una molturación demasiado fina del carbón. El carbón molido a excesiva finura es impulsado por el aire del ventilador, y tan pronto como sale de la boca del mechero, hasta la punta de la llama en su mayor parte. Naturalmente, en este caso y en dicho punto, la gasificación y la combustión del polvo de coque han tenido ya lugar sobradamente. Lo que sale de la punta de la llama y del cono de combustión son cenizas en fusión sumamente finas. Estas cenizas influyen en diferentes formas sobre el crudo que va llegando a su encuentro y sobre el material semicocido. La fina lluvia de ceniza fluida, que lleva sus efectos muy adentro del horno tubular, recubre las bolitas de material con una capa adherente y pegajosa de ceniza fluida, que tiende a hacer que la masa se aglomere y apelozone. Van formándose por depósitos sucesivos pequeñas capas superpuestas, que bajo la acción de un calor más intenso de la llama se reblandecen y funden, y progresivamente van formando el anillo; según la intensidad del proceso, éste puede ser más estrecho o alcanzar mayor profundidad. Según sea la naturaleza de las cenizas del carbón, puede producirse muy rápidamente una grave perturbación en la marcha del horno. Cuando el calor de clinkerización no es tan vivo que pueda producirse la fusión, las bolitas de material

conservan su forma, pero se aglomeran formando bolas o montones. En cambio, cuando se funden, pierden su forma y producen masas muy duras, en las que se aprecian las capas intermedias de cenizas con toda claridad. (Prescindiendo aquí de las incrustaciones o adherencias que se producen en los casos en que la dosificación del crudo es defectuosa.) Si en uno de dichos casos el mechero del horno queda dirigido contra el material, desviándose de su dirección axial, la ceniza fundida es inyectada en la masa del mismo, por medio del dardo de llama, e intensifica su acción.

Es indudable que la finura adecuada del carbón pulverizado es aquella que, al formar la llama, produce una distribución uniforme del carbón, y por consiguiente, de las cenizas. Esta finura es diferente en cada caso, y tiene que ser adecuada a cada carbón. De todos modos, en la mayor parte de los casos corresponde esta finura a un residuo nulo o casi nulo sobre el tamiz de 900 mallas y a un residuo de 15 a 25% sobre el tamiz de 4900.

Lo más importante será siempre mantener la finura a igual distancia de ambos extremos, y de manera que la precipitación de cenizas sea uniforme sobre la totalidad de la zona de clinkerización.

Naturalmente, es importante para la formación de la llama que el horno posea una ventilación adecuada, sea por medio del tiro natural de la chimenea, sea mediante el tiro forzado o artificial del ventilador; acerca de este último hay que observar que el tiro artificial, convenientemente graduado, aquí lo mismo que en el horno vertical proporciona una marcha más intensa y un trabajo más regular. La forma de la llama resulta más alargada, cosa que se traduce en que la zona de clinkerización resulta dos o tres metros más larga que la que se obtiene con el tiro natural. El hecho de que el tiro artificial produzca una llama más alargada hace que ésta se asemeje más en su efecto dentro del horno a la llama de un soplete, por lo cual convendrá tener esta circunstancia muy en cuenta para mantener una atención especial en que el mechero esté en dirección axial, ya que, de estar en esta posición o hallarse dirigido oblicuamente contra el material, se logra que la acción de la llama sea más o menos intensa sobre el material que se cuece.

Para la buena formación de la llama es de importancia una adecuada dosificación del aire secundario, que debe ser suficientemente abundante para que la llama tenga carácter oxidante. El mejor modo de regular el proceso de la combustión es su vigilancia por medio del análisis de los gases del humo, que cuando la dosis de aire es la más conveniente, tienen que tener la siguiente composición: CO_2 , 25 a 26%; O , 1 a 2%; CO , indicios. Entonces la llama desarrolla en las mejores condiciones su curso ininterrumpido, y la regulación de los gases que llegan y salen debe efectuarse por medio de un tiro, de manera que en la forma de la llama no se produzcan interrupciones de ninguna clase, ni entorpecimientos. Es evidente que dicha regulación se logra de manera más satisfactoria mediante el tiro artificial.

De estas consideraciones resulta también la necesidad de tener en cuenta las cenizas del carbón al calcular la composición del crudo. Si se piensa en que hay cenizas sumamente altas en sílice, se comprenderá la necesidad de tener presente esta circunstancia al calcular la composición más adecuada del crudo, si no se quiere correr el peligro de que el producto final presente un carácter completamente distinto del proyectado. Del mismo modo hay que conducirse con aquellas cenizas que contienen elevada dosis de óxido férrico, de cal, etc. Lo importante en este punto, naturalmente, es saber la parte de las cenizas que pasa al crudo, que puede ser mayor o menor según el dispositivo que lleve el horno. Por ejemplo, con el dispositivo de cadenas las cenizas pasan al crudo

casi íntegramente, mientras que con otros dispositivos sucede lo contrario.

Resumiendo, para una debida conducción de la llama debe partirse de las siguientes condiciones:

- (1) Mezcla lo más íntima posible de aire y carbón en el momento de la salida del mechero.
- (2) Carbón lo más seco posible, sin mezcla mecánica alguna de humedad.
- (3) Finura lo más uniforme posible con exclusión de los límites extremos de finura, tanto los demasiado gruesos como los demasiado finos.
- (4) Presión o aspiración del tiro lo más uniforme posible, preferentemente mediante el auxilio de un ventilador de tiro inducido dotado de buena regulación.
- (5) Empleo constante del mismo carbón, de la misma clase, evitando cambios de mina. Proporción de cenizas lo más reducida posible.
- (6) Conducción del aire a presión desde lo más cerca posible al horno.
- (7) Procurar que la composición de las cenizas sea lo más parecida posible a la del crudo.
- (8) Evitar la presencia de excesos de aire por encima de los límites normales (1 a 2% de O en los gases de escape).
- (9) Evitar que la llegada de aire sea demasiado escasa.
- (10) Todos los factores que intervienen en la regulación de la llama, una vez afinados, no deben ser ya sometidos a variación alguna.

Reseña de los progresos del cemento en el año 1930.—II.

por OTTO FR. HONUS.

Fabricación del cemento y perfeccionamiento de la misma.

En la Dwight and Lloyd Metallurgical Co.³⁷, New York, dirigida por R. W. Hyde, se mezclan las primeras materias pulverizadas, destinadas a la fabricación del cemento, con el combustible y eventualmente con los residuos de procesos similares anteriores, y se calientan a la temperatura de clinkerización, comprendida entre 1000 y 1450° C., con lo cual se produce una masa porosa, que a continuación es cocida a temperatura más elevada (entre 1200 y 1600° C.), para producir clinker de cemento que luego es debidamente pulverizado. E. J. Hume³⁸, de Australia, propone hacer reaccionar piedra caliza molida con la cantidad necesaria de pizarra arcillosa o de arcilla, previa adición de una cantidad de agua tal que se produzca una papilla fluida, que se mezcla íntimamente con la caliza molida, se moldea y se cuece. H. Stehmann³⁹, de Berlín, efectúa una reducción del contenido de agua de la pasta cruda de cemento, enviando al horno, junto con la pasta con que es alimentado, una cantidad de crudo seco tal que el calor contenido en los gases de escape de dicho horno de vía seca, sea desde luego suficiente para la vaporización de la totalidad del agua que entra en él. H. Meuris⁴⁰, de Bruselas, obtiene además del cemento ácido sulfúrico, calentando una mezcla moldeada en forma de briquetas, y compuesta de CaSO₄, arcilla, carbón y un carbonato metálico, tal como el CaCO₃ o el FeCO₃, de manera que la totalidad del carbón se queme antes de llegar a la zona de

³⁷ Patente norteamericana, No. 1746944.

³⁸ Patente austriaca, 16269/28.

³⁹ Patente alemana, 498203.

⁴⁰ Patente inglesa, 324199.

clinkerización del horno. Debe evitarse en este proceso la formación inconveniente de CaS . Según E. Urbain⁴¹, se obtiene fosfato cálcico, junto con un excelente cemento, cociendo en un horno eléctrico feldespato con fosfato potásico, en cuya operación se desprenden P_2O_5 y K_2 , que son recuperados en forma de K_3PO_4 . Con objeto de disminuir la dosis de Si , se ha propuesto añadir Fe_2O_3 a la masa fundida que se encuentra en el horno, con lo cual debe producirse ferro-silicio. La Kolloidchemie Studiengesellschaft m.b.H., de Hamburgo, y J. B. Carpzow⁴², se proponen obtener aglomerantes hidráulicos y ácido sulfúrico, partiendo de sulfatos cálcicos naturales o de residuos industriales de yeso, así como de los barros o fangos de las aguas salinas y dulces, mediante la íntima mezcla de las primeras materias, previamente tratadas para obtener su maduración, seguida de una cocción a $800-900^\circ \text{C}$. en el horno rotatorio.

Los cementos altos en sílice que obtiene J. Hempel⁴³, de Polonia, resultan de calentar piedra caliza de la composición adecuada, con SiO_2 hasta la temperatura de clinkerización o poco menos. Su composición puede fluctuar entre 60-70 SiO_2 , 25-30 CaO , y 4-5 de $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$. Los productos obtenidos, mezclados con cemento Portland, o sin mezclar, son muy resistentes contra las aguas marinas, los ácidos y los álcalis. Según A. A. Fertilizer Works, Chicago, dirigida por H. Meyers⁴⁴, mezclando fosfatos crudos bajos en sílice con materias que contengan K y Al , y eventualmente carbón, se obtiene un residuo, compuesto de silicatos de calcio y aluminio, que puede ser convertido en cemento por molturación. Las materias volatilizables al calcinar, P y K , pueden ser aprovechadas para la formación de fosfato potásico, y luego ser aplicadas como abono. F. W. Huber⁴⁵, pretende obtener muy buenos cementos mediante la cocción de mezclas formadas con arcilla u otras primeras materias aluminosas, y sustancias calizas, que contengan de 2 a 3%, de P_2O_5 y cantidades algo mayores de Fe_2O_3 , que las que corresponderían a las equivalentes del P_2O_5 existente, a temperaturas de 1300 a 1400°C y en hornos rotatorios. Para obtener cementos de composición siempre igual, la Société des Ciments Portland Artificiels⁴⁶ somete las primeras materias a un tratamiento, después del cual los elementos de que se compone se pueden separar fácilmente, para luego ser mezclados en las cantidades convenientes y transformados en cemento por los métodos adecuados. Se calcinan, por ejemplo, primeras materias que contengan CaCO_3 y SiO_2 , para luego separar los productos CaO y SiO_2 , o bien los silicatos, por medio de tamices separadores por aire. Para facilitar la reacción en el proceso de fabricación de ácido sulfúrico y cemento, partiendo del yeso, la I. G. Farbenindustrie Akt. Ges.⁴⁷ mezcla las primeras materias, yeso y arcilla, con la cantidad de carbón adicional necesaria para la conveniente reacción de las mismas, después de lo cual se agrega agua hasta formar una masa pastosa, que es moldeada en briquetas y cocida.

J. H. Bradburv⁴⁸ ensaya la fabricación simultánea de cemento Portland y de hierro cuproso, fundiendo una escoria con adición de cal y coke, en un horno eléctrico de arco. El horno empleado estaba revestido con ladrillos de magnesita. El consumo de coke fué mayor que el previsto. La reducción del FeO era difícil, y sólo resultaba completa cuando la reducción se forzaba hasta llegar a formar CaC_2 . En tal caso, también se observaba una fuerte reducción

⁴¹ Patente francesa, 679827.

⁴² Patente alemana, 502894.

⁴³ Patente francesa, 686455.

⁴⁴ Patente norteamericana, 1778224.

⁴⁵ Patente norteamericana, 1781232.

⁴⁶ Patente francesa 690021.

⁴⁷ Patente belga, 353425.

⁴⁸ Chem. Engin. Mining Rev., 22, págs. 443/49, y 23, págs. 349/50, 1931.

en el MgO . La escoria obtenida se disgregaba, dejándola enfriar lentamente, pero podía evitarse, sin embargo, tal disgregación, enfriándola bruscamente en agua, con lo cual se obtenía un cemento utilizable. El hierro obtenido, que resultaba en cantidades del 10 al 20% como sub-producto, se hallaba muy cargado de impurezas de Si, P, Mg, Cu y C. D. Werner y St. Giertz-Hedström⁴⁹ obtienen un cemento mixto difícilmente soluble mediante cemento Portland y arsénico, y calentando la mezcla a unos 200° C. Dicen ser la proporción más conveniente para dicha mezcla la de 30% de As_2O_3 y 70% de cemento Portland.

P. Mecke⁵⁰ se propone obtener cementos o cales impermeables al agua agregándoles un polvo seco, compuesto de sales amoniacales o alcalinas trituradas o fundidas junto con ácidos grasos.

Ch. T. Riley, J. C. Lay, E. C. Clark y A. H. Cronk⁵¹ (Estados Unidos) preparan masas resistentes al calor, que deben ser apropiadas especialmente para el revestimiento interior de los hornos, mediante mezcla de cemento molido con sal, arcilla, espato cálcico y CaF_2 .

Guy S. La Forge⁵² (Estados Unidos de Norteamérica) propone agregar al crudo de cemento una cierta cantidad de clinker sin moler, moliendo luego la masa y calcinándola. El proceso de cocción de la masa cruda se facilita y abrevia gracias a la presencia del clinker pulverizado y mezclado. La British Portland Cement Manufacturers, Ltd., S. G. S. Panisset, y W. S. Hannah⁵³, de Londres, obtienen cemento blanco tratando la mezcla cruda, inmediatamente antes de su cocción, con un medio reductor, y enfriándola luego de manera tan rápida que no se dé tiempo para una reoxidación. La reducción se efectúa, por ejemplo, por medio de una insuflación de carbón pulverizado, o bien durante la introducción del clinker incandescente en agua, cuya superficie es recubierta por una capa de parafina líquida.

G. Imai⁵⁴, de Tokio, obtiene cementos mixtos moliendo una mezcla de piedra calcinada, en la que entra cuarzo, feldespato y una substancia de alta dosis de elementos ácidos (SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3), con cemento Portland. H. C. Badder⁵⁵, de Londres, funde cemento Portland u otro aglomerante análogo y lo mezcla con óxidos, carbonatos u otras sales metálicas, con el fin de obtener cementos de colores.

En otro caso, E. Urbain⁵⁶, hace cocer fosfato bruto, silicato de aluminio (por ejemplo, feldespato) y cierta cantidad de carbón, mayor o menor según la clase de horno empleado, a una temperatura de unos 400 a 600° C., con lo cual se desprenden K_2O , P y CO , y queda un residuo que puede utilizarse como cemento, y cuya composición química es la siguiente: CaO , 50%; Al_2O_3 , 20%; SiO_2 , 30%.

E. R. Wilner⁵⁷, de Nueva York, en nombre de la Eddystone Cement Corp., explica un procedimiento consistente en calentar las primeras materias destinadas a la fabricación del cemento por separado y a temperaturas relativamente bajas; por ejemplo, la arcilla a 800° C., y la caliza hasta la eliminación completa del CO_2 ; después mezclarlas y molerlas hasta un grado conveniente de finura, añadiendo eventualmente yeso y amasándolas para tratarlas luego

⁴⁹ Technisk Tidskr., 60, pags. 41/49, 1930.

⁵⁰ Patente alemana 512876.

⁵¹ Patente norteamericana, 1756762.

⁵² Patente norteamericana, 1784840.

⁵³ Patente inglesa, 331584.

⁵⁴ Patente inglesa 319342, y patente francesa, 670864.

⁵⁵ Patente inglesa, 320597.

⁵⁶ Patente francesa, 695221.

⁵⁷ Patente norteamericana, 1785508.

con agua o con vapor. Los productos que con este material se fabrican deben ser impermeables al aire y al agua y resistentes contra el agua de mar y los ácidos.

Fabricación de cemento aluminoso.

Según proyecto de la Société Anonyme des Chaux et Ciments de Lafarge et du Teil⁵⁸, de Viviers, Francia, debe mezclarse CaSO_4 , finamente pulverizado en forma conveniente y en cantidad apropiada, con cemento de alúmina o con sus primeras materias, para obtener un producto final en el que todo el Al se halle en forma de sulfoaluminato cálcico. E. Urbain⁵⁹ obtiene gas de agua, ácido fosfórico, cemento de alúmina y carbón de alta actividad, haciendo pasar por un horno eléctrico los gases obtenidos con fosfato crudo aluminoso y carbón, de acuerdo con la patente 639412, previa adición de vapor de agua y del hidrácido de un halógeno (HCl), a unos 1000°C ., y obligándoles a pasar a través de una capa de carbón amorfo y poroso. R. S. Lewy⁶⁰, con objeto de evitar la producción de las masas compactas que se forman al solidificarse el cemento fundido, propone retardar el enfriamiento de la masa fundida por medio de una circulación de gases calientes o de aire recalentado, o bien adicionar al material fundido a la salida del horno clinker de cemento fundido fabricado previamente clinker de cemento cálcico o bien escorias de altos hornos. En otro caso, R. S. Lewy⁶¹ obtiene un cemento de alúmina mezclando a las primeras materias fragmentos bien limpios de polvo, del tamaño de guisantes, de cemento cálcico, y cociendo la mezcla así obtenida hasta la clinkerización. En estas condiciones el revestimiento refractario del horno rotatorio es menos atacado, y se evitan las adherencias del material a las paredes. Según B. Spiegel⁶², la cal y la bauxita destinadas a la fabricación del cemento de alúmina (conteniendo la bauxita de un 5 a un 15% de Fe) deben ser molidas tan sólo a una finura tal que sobre el tamiz de 900 mallas por cm^2 quede por lo menos un 15% de residuo. El tiempo de cocción necesita ser más largo que cuando se emplean mezclas molidas a la finura ordinaria, pero la economía efectuada en los molinos es más importante que el aumento que experimenta el coste de la cocción. La I. G. Farbenindustrie Akt. Ges.⁶³ obtiene, mediante dos procesos sucesivos, cemento fundido de alúmina y fósforo. En la primera fase del proceso, se hace fundir, por ejemplo, una bauxita que tenga un 65% de Al_2O_3 , un 20% de Fe_2O_3 y un 2% de SiO_2 con CaO y carbón, en una proporción de 100 : 17 : 10, con objeto de eliminar el hierro. La escoria formada contiene 80% de Al_2O_3 , 19% de CaO y un 1% de SiO_2 . Esta escoria se hace fundir durante la segunda fase del proceso con fosfato en piedra, que contiene un 35% de P_2O_5 y un 51% de CaO , dosificando en la proporción 2 : 1. La fusión de efectúa en presencia de carbón. El cemento de alúmina obtenido contiene un 48% de CaO , un 48% de Al_2O_3 y un 4% de SiO_2 . La Compagnie de Produits Chimiques et Electrometallurgiques Alais, Froges et Camargue⁶⁴ propone clinkerizar mezclas de bauxita, yeso y carbón en proporciones adecuadas para que se produzcan aluminato monocalcico y aluminato dicalcico, a temperaturas de 1200 a 1250°C . W. Kyber⁶⁵ obtiene cemento de alúmina y fósforo fundiendo mezclas de fosfato aluminoso, CaO y carbón. Para que el azufre procedente de los fosfatos brutos con que se fabrican

⁵⁸ Patente inglesa, 317783.

⁵⁹ Patente francesa, 34566.

⁶⁰ Patente francesa, 680762.

⁶¹ Patente francesa, 680763.

⁶² Patente norteamericana, 1775575.

⁶³ Patente polaca, 10863. Patente alemana, 483399.

⁶⁴ Patente francesa, 678096.

⁶⁵ Patente alemana, 495436.

los cementos fundidos resulte inocuo, W. Kyber⁶⁶ añade MgO durante la alimentación o a la masa fluida producida durante la cocción, con objeto de evitar mermas de la resistencia y producción de H₂S gaseoso al amasar el producto con agua.

Propiedades.

El efecto del gel de silicatos sobre el mortero de cemento Portland, en lo relativo a su resistencia contra la acción de los sulfatos ha sido estudiado por T. Thorvaldson, V. A. Vigfusson y D. Wolochow⁶⁷. En presencia del sulfato cálcico y del sulfato sódico, la adición de gel de silicatos al cemento Portland, fraguado y endurecido en vapor de agua a 100° C, ejerce una influencia favorable, evitando la expansión y conservando la resistencia a la tracción. Morteros endurecidos en vapor, con una adición de gel de silicatos del orden de un 20% del peso del cemento, manifestaron mayor estabilidad al ser tratados por una solución de sulfato sódico y cálcico que los morteros sin gel tratados en la misma forma. Con las soluciones de MgSO₄ ocurrió todo lo contrario. Los morteros de cal, gel de silicatos y arena se condujeron ante los sulfatos de la misma manera que los morteros de cemento, gel y arena. D. Werner⁶⁸ estudió la solubilidad de diferentes clases de cemento, sometiendo probetas preparadas por él a base de un procedimiento original con dichos cementos, en un aparato de sacudidas, a un reiterado tratamiento con agua. En las soluciones obtenidas habla cal libre, así como también SiO₂, Fe₂O₃ y Al₂O₃, e igualmente K₂O + Na₂O, comprobándose un retardo en la solubilidad de la cal, por causa de los agregados ácidos. K. E. Dorsch y A. Deubel⁶⁹ estudian la viscosidad del cemento durante su fraguado, según el método de los filtros sumergidos, indicando todos los cementos estudiados un fuerte crecimiento de la viscosidad, de 0 a 60 minutos, al cual sigue un intervalo de viscosidad constante de unos 30 minutos. Transcurrido éste, la viscosidad vuelve a aumentar lentamente. Los fenómenos se hallan de acuerdo con lo propuesto por las teorías con relación al proceso del fraguado.

H. Kühl⁷⁰ propone substituir el módulo hidráulico por el grado de saturación en cal. El grado de saturación en cal representa la cantidad teórica más elevada posible de cal que puede entrar en las combinaciones 3CaO.SiO₂, 3CaO.Al₂O₃ y 2CaO.Fe₂O₃, que se expresa en forma adecuada por la fórmula:

$$\text{CaO} = 2,8 \text{ SiO}_2 + 1,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{ Fe}_2\text{O}_3.$$

Hidratación, fraguado y endurecimiento.

T. Thorvaldson, N. S. Grace y V. A. Vigfusson⁷¹, prosiguiendo sus trabajos acerca de la hidratación del aluminato tricálcico, han obtenido el exahidrato por medio de la acción del vapor de agua a 130° C sobre el compuesto en forma de pequeños trapezoedros. El exahidrato fué obtenido también por la acción de vapor de agua sobre una mezcla de 3CaO. + 1Al₂O₃, estando compuesto principalmente de cubos. Ambos productos dan el mismo diagrama Röntgen. La solubilidad en el agua a 21° C. es de 0,0346, y a 40° C. de 0,02689 g. de anhídrido en 10 cm³ de solución. Agitando 3CaO.Al₂O₃ con gran cantidad de agua a bajas temperaturas, se obtiene otro hidrato muy alto en agua, que posee la forma cristalina mencionada por Klein y Phillips⁷², Mediante deshidratación isotérmica a 21° C. y dejando reposar después se encontraron, junto con

⁶⁶ Patente alemana 511520.

⁶⁷ "Canadian Journ. Res.," 1, pags. 385/99, 1929.

⁶⁸ "Technisk Tidskr.," 60, No. 37, Kemi. pags. 57/64 y 68/72, 1930.

⁶⁹ "Kolloid-Ztschr.," 51, pags. 180/86, 1930.

⁷⁰ "Tonindustrie Ztg.," 54, pags. 389/92, 1930.

⁷¹ "Canadian Journ. Res.," 1, pags. 201/13, 1929.

⁷² "Bureau of Standards Tech. Papers," 43, 1914.

soluciones de diferente y bien definida tensión de vapor de agua, indicios de la existencia de compuestos de $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ con 12, 10, 5, 9, 8 y 6 moléculas de agua. El calor de disolución para el exahidrato a 20°C . era de 519 calorías por gramo de anhídrido ($=3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), y para los hidratos con 9, 8, 10,5 y 12 moléculas de agua de 21, 37 y 47 calorías menos por gramo, respectivamente.

Según manifestaciones de A. Stopoe⁷³, las distintas calidades de trass actúan de diferente manera sobre el tiempo de fraguado del cemento Portland. El trass retarda, en general, el fraguado. Sobre el cemento Portland de alto valor actúa el trass más débilmente que sobre el cemento corriente. El principio del endurecimiento del cemento Kühl se acelera mediante una adición de trass, y en cambio el final de dicho endurecimiento es retrasado si se añaden pequeñas cantidades de dicha materia. Sobre el cemento Portland las adiciones de trass ejercen un efecto inverso que sobre el cemento Kühl, cosa que también se observa respecto del tiempo de fraguado.

H. Kühl⁷⁴, como consecuencia de ensayos efectuados en colaboración con Gottfried y Thilo, afirma que no pueden efectuarse los estudios relativos a los procesos de endurecimiento en presencia de grandes cantidades de agua, porque en tales circunstancias la hidrólisis progresa más y va más lejos que en el hormigón durante su fraguado. Acerca del particular permiten formarse criterio los diagramas Röntgen. Sin embargo, como los morteros industriales contienen ya sustancias cristalinas, se emplearon para los ensayos unas escorias de altos hornos de naturaleza vítrea, que fueron amasadas con KOH exento de CO_2 . Después de 10 días, y a pesar de las buenas resistencias comprobadas, no se podía todavía reconocer al microscopio de ningún cristal, cosa que fué confirmada roentgenográficamente dando lugar a la hipótesis de que el endurecimiento tiene que ser considerado como un proceso químico-coloidal. Haegermann⁷⁵ encuentra que una de las causas principales de determinadas perturbaciones del fraguado es la presencia de N_2O_5 en el agua que se emplea en el amasado. Los ensayos de S. Stein⁷⁶ han confirmado la hipótesis de Grauer, según la cual la primera acción del yeso consiste en la neutralización de los álcalis puestos en libertad por la hidratación. A esto se añade un intenso entumecimiento del cemento, provocado por el yeso adicionado, y un simultáneo aumento de la resistencia. E. Probst y K. E. Dorsch⁷⁷, como consecuencia de ensayos efectuados con diversos cementos, tanto con agua ordinaria como con agua destilada, afirman que los valores de las resistencias son diferentes según la clase de agua empleada, y proponen en consecuencia que en los análisis y ensayos normales se emplee agua destilada.

Según los ensayos e investigaciones de F. O. Anderegg y D. S. Nubell⁷⁸, acerca de la velocidad de hidratación del clinker de cemento, las partículas de cemento de 15 a 25μ , a los 9 meses estaban aproximadamente fraguadas, y a los 12 meses el fraguado era completo. Las partículas de $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ de 25μ , al cabo de tres horas estaban fraguadas en un 75%, y las de $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ lo estaban al cabo de siete días, tardando en hacerlo cinco meses y medio las de $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Los tiempos de fraguado correspondientes a los cementos estudiados caen entre los que corresponden a ambos silicatos. En general, las mezclas de minerales reaccionan con más rapidez que los minerales aislados. Esto se aplica, sobre todo, al cemento Portland. Y. Shimizu⁷⁹ estudia, por el método de la con-

⁷³ "Tonindustrie Ztg.," 54, pags. 2, 37 y 590, 1930.

⁷⁴ "Zement," 19, pags. 262/64, 1930.

⁷⁵ "Zement," 19, pags. 264/65, 1930.

⁷⁶ "Zement," 19, pags. 240/41, 1930.

⁷⁷ "Zement," 19, pags. 1009/11, 1930.

⁷⁸ "Proc. Americ. Soc. Testing Materials," 29, Parte II, pags. 554/69, 1929.

⁷⁹ "Science Reports," 1/19, pags. 307/14, 1930.

ductibilidad eléctrica, el fraguado del cemento de alúmina y escorias por él inventado, de un cemento de altos hornos y de un cemento Portland férrico. Resulta de las curvas de conductibilidad que el fraguado y endurecimiento de las escorias es acelerado por el cemento. A base de las curvas se puede determinar la proporción de mezcla más adecuada de escoria y cemento. El cemento de alúmina y escoria es el que tiene mejores resistencias.

K. Koyanagi⁸⁰ estudia la hidratación del cemento Portland y la influencia del fosfato monocálcico sobre la hidratación del cemento. La hidratación fué estudiada hasta ahora casi siempre en presencia de gran exceso de agua, y sobre clinker puros sin adición de yeso. Las circunstancias son, por consiguiente, muy diferentes de las de la práctica. Los cementos de buena calidad, además, presentan una hidratación diferente de los cementos expansivos, por exceso de cal. Cincuenta clinker de horno rotatorio, amasados con diez cantidades diferentes de agua, fueron preparados y observados. Se prepararon a continuación cristales de sulfoaluminato cálcico, agitando con agua polvo de clinker de la mejor calidad y dejando reposar el líquido de dos a tres horas con solución de yeso. Los cristales se separaban entonces en forma de copos, compuestos de agujas. El clinker tiene que ser reciente y contener menos de 0,4% de CaO libre. En clinker con gran cantidad de SO_3 no aparecen las agujas. Para deslavar un clinker se necesita hacer actuar sobre él durante 8-14 horas una cantidad de agua 30 veces mayor. Los cristales tienen la siguiente composición: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5 \text{CaSO}_4 \cdot 30 \text{H}_2\text{O}$. Las agujas eran ópticamente negativas, mono-axicas y débilmente birrefringentes. Con clinker bien cocido se obtienen los siguientes productos de hidratación: agujas gruesas y cortas y plaquitas exagonales delgadas de $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Las primeras se transforman lentamente en plaquitas. En presencia del yeso, se forman agujas de sulfoaluminato; después, una masa de gel; y por último, el hidrato cálcico. No se encontraron silicatos cálcicos. Los dos últimos productos acaban por separarse. El efecto retardador del yeso se debe a la formación de sulfoaluminato. El endurecimiento es producido por la separación de la masa de gel del silicato cálcico. El clinker mal cocido se hidrata, empezando por formar una masa de gel. Sólo a base de una abundante adición de agua se presentan las agujas cortas de aluminato. El cemento con alta dosis de cal libre requiere más agua para la formación de agujas de aluminato. En el caso de cementos mal cocidos, las placas de hidrato cálcico se separan antes que en el cemento bueno, especialmente si la cal libre abunda. Puede esto comprobarse en los productos llamados "incocidos." Hasta después de algunas semanas no se produce el aluminato. El endurecimiento tiene lugar aquí también por causa de la masa de gel.

(Continuará)

⁸⁰ " Journ. Soc. Chem. Ind," (Japon), Suppl. 33, 147B-53B, 1930.

La fábrica de cemento de Neuwied a./Rh.

por L. E. PERES

RECIENTEMENTE se ha puesto en marcha en Neuwied una de las mayores y más modernas fábricas de cemento europeas. La fábrica ha sido erigida el año pasado en Münster i. W., por el grupo Wicking de fábricas de cemento Portland y cal hidráulica, con objeto de sacar partido de su favorable emplazamiento junto al Rhin y de sus económicos transportes fluviales; proporcionando, además, a los numerosos consumidores de la cuenca del Rhin condiciones favorables de flete, que asimismo tienen ventajas para la adquisición del trass consumido en grandes cantidades por dicha fábrica para la producción de cemento

puzolánico. La total realización del proyecto fué encargada a la Andreas-Maschinenbaugesellschaft m.b.H.

La piedra caliza utilizada como primera materia procede de unas canteras situadas junto a Oppenheim; en ellas sufre ya una trituración preliminar en machacadoras especiales de martillos, siendo luego conducida a silos contruidos junto al Rhin, desde los cuales pueden cargarse las embarcaciones en cortísimo tiempo. La arcilla viene de unas canteras situadas cerca de Coblenza; en la misma cantera se deslíe en varias amasadoras, para luego ser conducida a su destino en forma de pasta flúida, mediante una tubería y un barco-tanque.

La descarga de la piedra caliza se efectúa por medio de una potente grúa giratoria, que puede alcanzar a toda la longitud de la embarcación, aún en el caso de que se trate de las gabarras de mayores dimensiones que circulan por el Rhin. La cuchara prensora de la grúa de descarga deposita el material en una vagoneta suspendida y eléctrica, de 5 m³ de capacidad, que lo conduce con gran rapidez al almacén de primeras materias, local de gigantescas dimensiones donde es depositado; de este modo, aún en el caso de crecidas y deshielos, se dispone siempre de reserva suficiente para poder vencer las dificultades que puedan presentarse en el transporte de aquel material. (Figs. 1 y 2, pág. 1250.)

La arcilla se descarga del buque-tanque especial por medio de una bomba centrífuga, por la cual es impulsada hasta el almacén de arcilla; la descarga de dicho buque se realiza en esta forma en el espacio de una hora. La pasta de arcilla se almacena en cisternas, pudiendo en ellas ser agitada, si hace falta, mediante especiales dispositivos amasadores.

La extracción del material calizo del almacén de piedra se lleva a cabo por medio de una grúa prensora, que alimenta directamente el recipiente o depósito de los molinos combinados que trabajan por vía húmeda. Estos depósitos son de dimensiones tales que bastan para un turno entero de ocho horas. (Figs. 3 y 5, págs. 1250, 1252.)

El edificio, además de contener dos molinos de vía húmeda de 2,2 m. de diámetro por 14 m. de longitud, contiene también dos molinos de cemento de iguales dimensiones, instalados en forma tal que un solo hombre puede cuidar de toda la sección de molidura, que durante una jornada es capaz de producir más de 1000 toneladas.

Los dos molinos de cemento bastan para producir dentro de una jornada más de 1000 toneladas, no sólo de cemento normal de una finura que corresponda a un residuo de 10-12% sobre el tamiz de 4900 mallas, sino también de cemento especial y cemento puzolánico, de finuras mayores, que dejen residuos del 2 al 4% sobre el mencionado tamiz.

El transporte de la pasta cruda desde los molinos hasta los silos donde se almacena se efectúa por medio de bombas centrífugas. En los silos de pasta se realiza la homogeneización de la pasta, para conseguir una mezcla de absoluta uniformidad.

Para la cocción del cemento se dispone de dos grandes hornos rotatorios de vía húmeda, de 3,3 m. de diámetro por 63 m. de longitud, calentados con carbón pulverizado. Los gases de escape atraviesan a una temperatura de unos 250° C. una cámara emplazada detrás del horno, donde el polvo es precipitado eléctricamente, y que ha sido montada por la Lurgi-Apparatebau-Gesellschaft, de Frankfurt a.M. A continuación de esta cámara de polvo van instalados dos grandes ventiladores de aspiración, que conducen los gases de escape ya depurados a dos chimeneas de hormigón de 60 m. de altura y 3,3 m. de diámetro interno en su extremo superior. De esta manera se logra una depuración de los gases de escape, que son despojados de un 99% del polvo que contenían, y se evita en forma perfectísima la consiguiente molestia en el terreno circundante.

La preparación del carbón se lleva a cabo en una instalación especial. El carbón llega por vía fluvial, en gabarras o embarcaciones descargadas mediante una grúa dispuesta de modo que puede girar los 360°; pasa luego a una cinta transportadora, que lo lleva a los silos de carbón bruto. De ellos es extraído automáticamente, mezclado en la debida proporción de carbón de llama y carbón seco, según lo que en cada caso se requiera. La mezcla pasa luego a un tambor secador, y a la salida del mismo a un molino combinado de 1,80 m. de diámetro por 13 m. de longitud, suficiente para una producción horaria de 20 toneladas o más, a base de un residuo de un 6% sobre el tamiz de 4900 mallas, y que bastaría incluso en el caso de una ulterior ampliación de la producción de la fábrica. (Fig. 4, pág. 1251.)

A consecuencia de lo seguro de la construcción de este tipo de molino combinado, ha podido prescindirse de montar otro molino de la misma clase como reserva.

El transporte del clinker cocido se lleva a cabo en canalones de sacudidas y en elevadores de cangilones que lo conducen hasta los silos de clinker. De dichos silos pasa luego también por canalizos conductores a los dos molinos de cemento.

Al instalar y distribuir los edificios, silos, etc., se ha tenido la precaución de prever una importante ampliación posible de la fábrica. Por esta razón en la actualidad la fábrica parece a primera vista no estar dispuesta en forma suficientemente coherente, como lo estará el día en que se haya completado con las ulteriores instalaciones.

El envasado y carga ofrecen algunas dificultades, desde el momento en que hay que envasar simultáneamente en sacos de papel, sacos de yute y barriles, y efectuar las expediciones por buque, por ferrocarril y por autocanión.

El ensacado se realiza mediante la máquina ensacadora sistema Andreas para sacos de válvula, con la cual un hombre puede llenar en una hora un millar de sacos con absoluta precisión en el peso. El envasado en barriles tiene lugar mediante una máquina envasadora completamente automática sistema Andreas, con la cual un hombre en una hora puede llenar hasta 100 barriles. (Fig. 6, pág. 1253.)

La salida de los sacos se efectúa por medio de cintas transportadoras, que los conducen sea directamente al vagón de ferrocarril sea a las bandejas suspendidas de los cables accionados eléctricamente, que se utilizan en la carga de las embarcaciones. La evacuación de los barriles cargados tiene lugar automáticamente desde el aparato asentador de los barriles, por encima de un transportador de rodillos, a una máquina que los tapa automáticamente, y de allí por encima de otro transportador de rodillos y de unas bandejas suspendidas por el cable de accionamiento eléctrico hasta la embarcación.

El cable de transporte eléctrico suspendido circula, por lo tanto, por el interior de la sala de ensacado, así como por la de envasado en barriles. Se escogió esta solución porque con ella es posible, de la manera más sencilla y económica, recorrer toda la nave de una parte a otra sin necesidad de abrir en ella demasiadas aberturas, pudiéndose cargar en diversos puntos sin gran fatiga de modo simultáneo, cosa interesante, especialmente en el caso de los sacos de papel. El transporte eléctrico suspendido permite, además, en forma sumamente sencilla y económica, una ulterior ampliación.

El ramal de vía férrea o apartadero de la fábrica está situado entre los dos locales de sacos y barriles, de manera que puede trabajarse por los dos lados en la carga de los vagones. En la sala de envasado en barriles hay además una rampa de carga especial para el transporte automático.

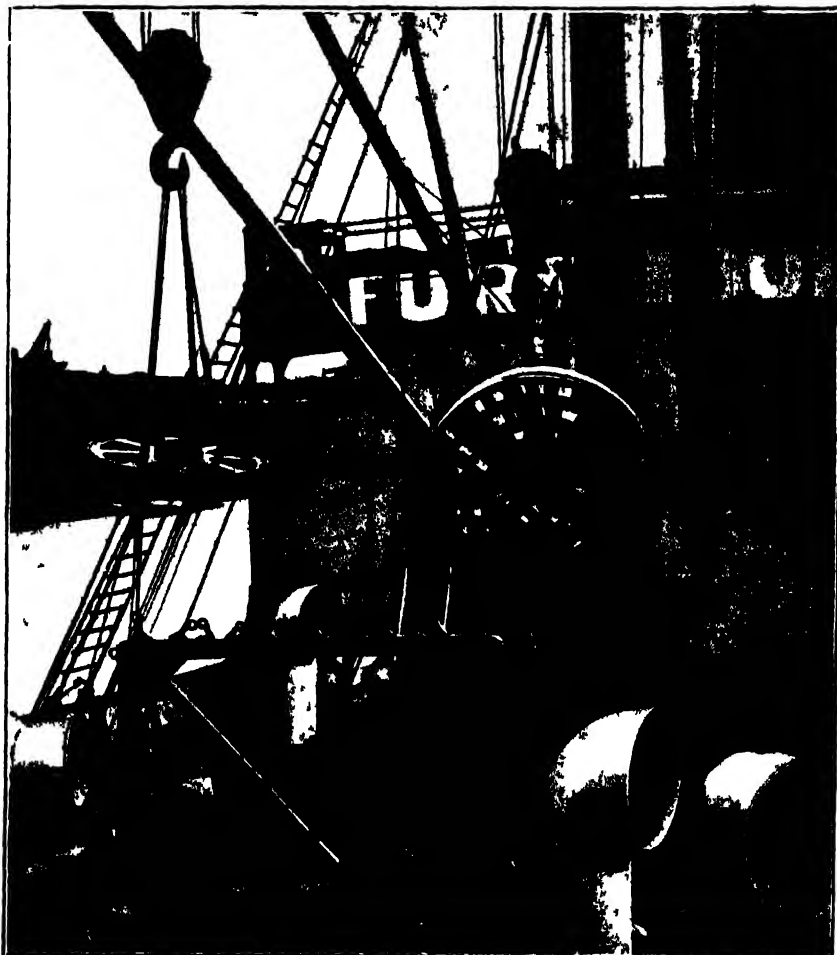
Bastan para mantener la producción total de la fábrica en la actualidad, que es de más de 1000 toneladas, 160 obreros, incluyendo talleres, laboratorios, contramaestres, etc.

CURT VON GRUEBER

Cable Address
Drehrost,
Berlin-Lichterfelde

MASCHINENBAU A-G.
BERLIN - TELTOW
TELEPHONE ZEHLENDORF 3432

Postal Address:
Berlin-Lichterfelde 1
Postfach 1.



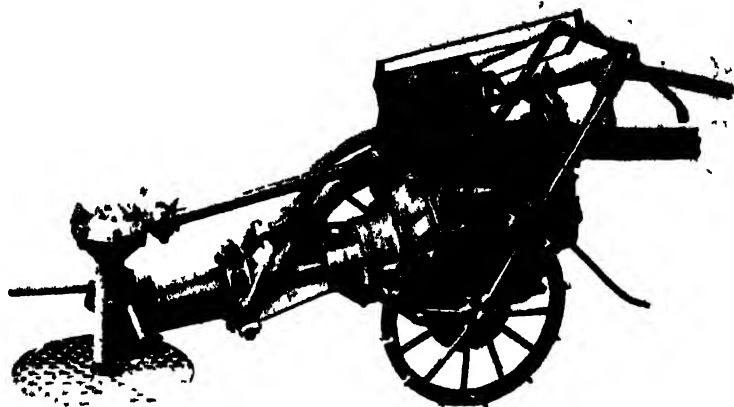
In Hamburg Harbour : Loading parts of rotary grate shaft kilns for shipment to South America
(order for 4 complete automatic shaft kilns).

SPECIALISTS IN THE DESIGN & CONSTRUCTION OF COMPLETE CEMENT AND LIME WORKS

Arrangements can be made for an Experienced Cement and Lime Engineer to give personal advice free of cost and without obligation. Designs and estimates sent free of cost.

ORIGINAL PATENTEES of the ROTARY GRATE SHAFT KILN

BULK CEMENT ON THE THAMES



WHY IT LOWERS TRANSPORT COSTS

By using the FULLER-KINYON BULK CEMENT PUMP cement can be transported on barges from Works in Essex and Kent to depots in London and the Home Counties in two operations only, and the actual conveying of the cement from silos to barges and from barges to depots can be carried out by one man at the rate of 35 tons per hour per pump.

BULK CEMENT ON THE G.W. RAILWAY

The FULLER-KINYON BULK CEMENT PUMP will unload cement on construction sites from 20-ton railway trucks by one man in one single operation at the rate of 35 minutes per truck, or deliver it to the depots supplying the big industrial areas in the same time and with the same small amount of labour.

BULK CEMENT

v.

SACKS

Which is better? Any quantity from silos to depot in one operation at less than 6d. a ton—or one cwt. in one sack with its very high handling costs? The FULLER-KINYON PORTABLE UNLOADER FOR BULK CEMENT is being used by all the leading cement manufacturers, because bulk cement reduces transport costs and gives a better service. Let us send you complete particulars.

**BULK CEMENT
HAS MORE ADVANTAGES
IN ENGLAND
THAN ANY OTHER COUNTRY**
Let us tell you why.

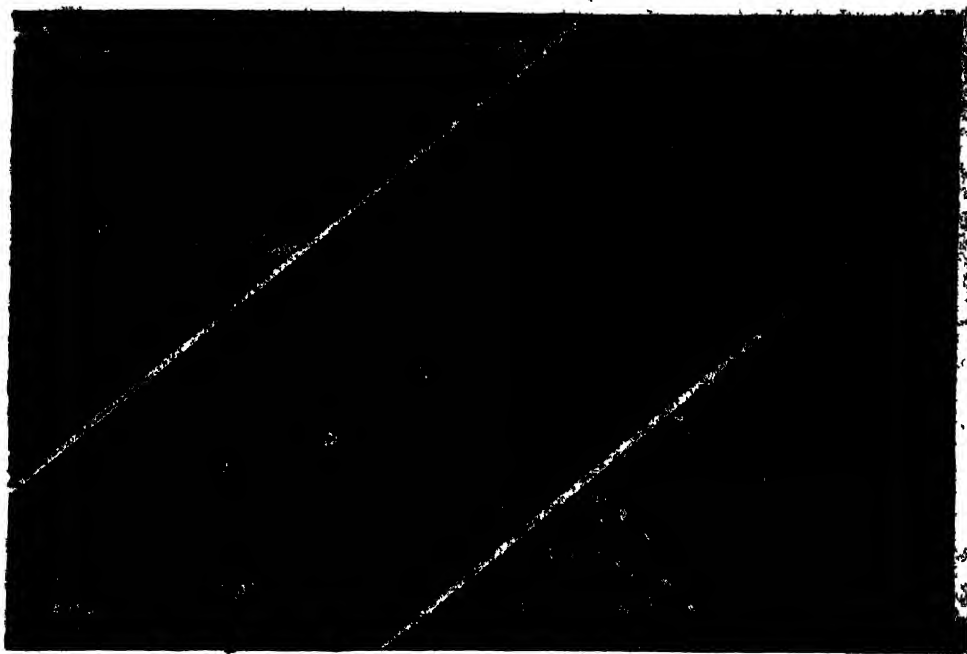
E. CONSTANTIN, LTD.
105, RUE LAFAYETTE, PARIS.

Telegrams: "Fullengae, Paris."

Sole Licensees (except for pulverised coal) for England and France, Holland, Belgium, Luxemburg, Switzerland, Spain, Portugal, and their respective colonies.

Representatives: THE FULLER COMPANY, CATASAUQUA, PENNA., U.S.A.

Fuller-Kinyon Equipment will be manufactured and sold entirely by long-established **BRISTOL FIRMS** who specialise in cement-making machinery.



"Stahlunion" Forged Steel Balls

for all kinds of Grinding Mills, manufactured of steel of natural hardness in the most careful execution.

We also supply **Cylpebs** and **Grinding Rods**, brand "Stahlunion" from the same high grade natural hard steel.

Geschmiedete Stahlkugeln Marke "Stahlunion"

aus naturhartem Spezialstahl in sauberster Ausführung für alle Kugelmühlen.

Aus dem gleichen hochwertigen naturharten Stahl liefern wir **Cylpebs** und **Mahlstäbe** Marke "Stahlunion."

Boulets en acier forgés Marque "Stahlunion"

en acier spécial de dureté naturelle, exécution la plus soignée, pour tous broyeurs à boulets. Nous livrons également les **Cylpebs** et les **Batons** marque "Stahlunion" dans le même acier, de dureté naturelle, à haute résistance.

Bolas de acero forjado, marca "Stahlunion"

de acero especial de dureza natural, de esmerada ejecución, para molinos a bolas de todas clases.

De la misma alta calidad de acero, de dureza natural, suministramos también **cylpebs** y **barras** para molinos, marca "Stahlunion."

VEREINIGTE STAHLWERKE

A K T I E N G E S E L L S C H A F T

HUTTE RUHRORT-MEIDERICH, DUISBURG-RUHRORT

GERMANY DEUTSCHLAND ALLEMAGNE ALEMANIA



STEEL CASTINGS FOR GRINDING AND PULVERISING MILLS.

THE quality of the castings supplied by this Company for Crushers Pulverisers and other mining plants is more than vouched for by the many users from whom repeat order after repeat order is secured

By an unusually wide experience and unsurpassed facilities for research this Company is enabled to keep its service keyed up to but one ideal—that of meriting the confidence already earned and given

*Write for Catalogue No 27
on this subject It will
be gladly sent upon request*

THOS FIRTH & JOHN BROWN LIMITED



ATLAS & NORFOLK WORKS SHEFFIELD

CABLE ADDRESS : FREREVRARD, CHARLEROI.

Buy **SILEX** :: Bolas
BLOCKS for de Mar
LINING your en peder-
Cement Mills, nal; REVES-
and your TIMIENTOS
FLINT :: DE MOLINOS de
PEBBLES Cemento en
from adoquines **SILEX**
BELGA ·DURO.

R. FRERE & F. EVRARD,

Silex Producers,

106, Rue Neuve,

MONTIGNIES - sur - SAMBRE (BELGIUM)

For List of Up-to-date

Books on Concrete

Send a postcard to
CONCRETE PUBLICATIONS LTD.,
20 Dartmouth Street, London, S.W.1

JOHN G. STEIN & CO., LTD.

BONNYBRIDGE

SCOTLAND

Fabricants de
refractaires de
qualité supérieure
pour garnissage de
fours rotatifs de
cimenteries.

Nos briques re-
fractaires de
marque " Nettle "

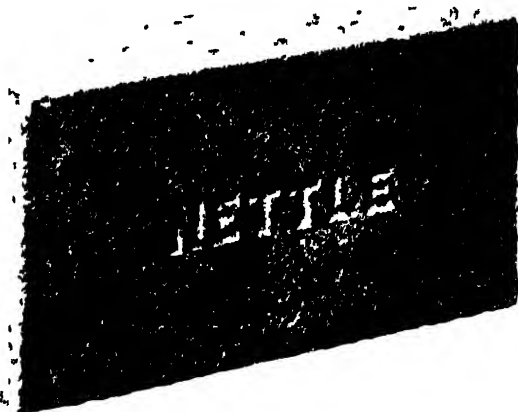
Fabrikanten eines
hochwertigen feuer-
festen Futters für
Zementdrehofen.

Unsere feuerfe-
sten Steine Marke
" Nettle " sind

Fabricantes de
refractarios de alta
calidad para revesti-
mientos de hornos
rotatorios de
cemento.

Nuestros ladrillos
refractarios, marca

**MANUFACTURERS
OF HIGH GRADE
REFRACTORIES
FOR ROTARY
CEMENT KILN
LININGS**



conviennent égale-
ment bien pour les
zones de refroidis-
sement et de gril-
lage au pur, et elles
ont donné d'excel-
lents résultats dans
les cimenteries par-
tout en Grande
Bretagne.

Notre service
technique est à
votre disposition.

**NOUS SOMMES LES
FABRICANTS DE RE-
FRACTAIRES LES PLUS
IMPORTANTES DE L'EM-
PIRE BRITANNIQUE.**

sowohl für die
Kühl-wie Sinter-
zone des Ofens
geeignet und haben
sich in Zement-
fabriken Gross-
Britanniens hervor-
ragend bewahrt

Unsere technische
Abteilung steht zu
Ihrer Verfügung.

**WIR SIND DIE
BEDEUTENDSTEN
FABRIKANTEN IM
BRITISCHEN REICH.**

" Nettle, " son muy
adecuados, igual-
mente, para las
zonas de refrigera-
ción y de calcina-
ción del horno, y
han rendido ser-
vicio excelente en
las fábricas de
cemento de toda la
Gran Bretaña.

Nuestro servicio
técnico queda a su
disposición.

**SOMOS LOS MAYORES
FABRICANTES DEL
IMPERIO BRITANICO.**

BRANDS.

**NETTLE
THISTLE
STEIN
JGS&CO
BLUEBELL
(95% Silica).**

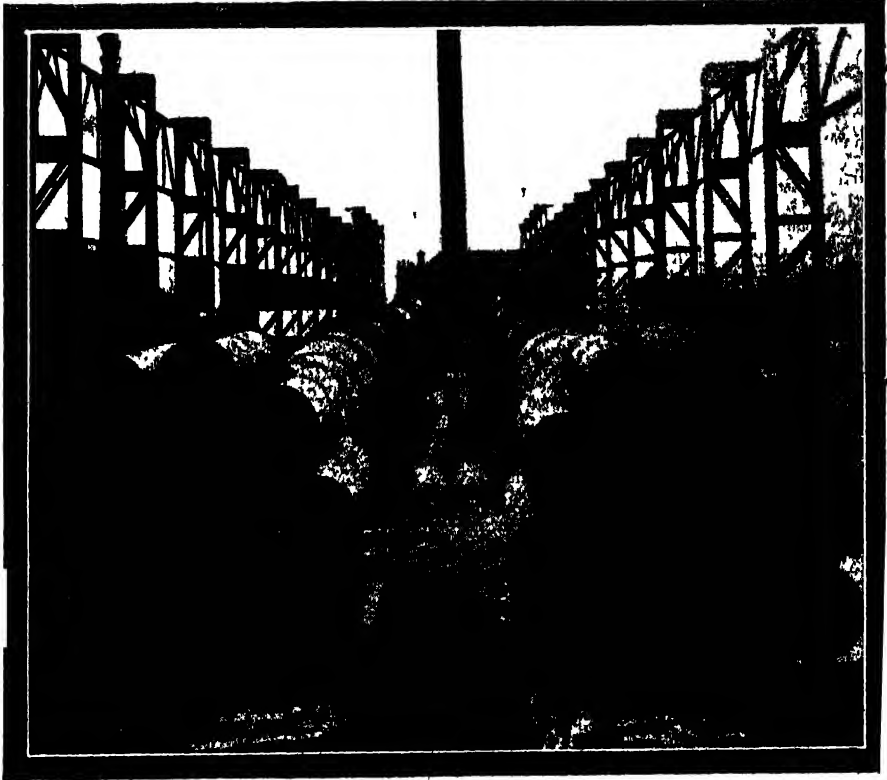
Our "Nettle" Brand
Firebricks are very
suitable for both the
cooling and burning
zones of the kiln and
have given excellent
service in cement
works throughout
Great Britain.

Our Technical
Service is at your
disposal.

We are the Largest
Makers in the British
Empire.

VICKERS

CEMENT MAKING MACHINERY



Published by Courtesy of the Green Island Cement Co.

ROTARY KILNS, BALL MILLS, TUBE MILLS,
DRIERS, CRUSHERS, CRUSHING ROLLS,
MIXERS, AGITATORS, ETC.



ARMSTRONGS LIMITED

The illustration shows two of the Vickers Patent Rotary Reflex Kilns in course of erection at the new works of the Green Island Cement Co., Ltd., Hongkong. These kilns form part of the contract for a complete works having a capacity of 2,000 tons of cement per week, secured by Vickers-Armstrongs Ltd.

La figure montre deux des fours rotatifs Reflex Vickers, en cours de montage aux nouvelles Usines de la Green Island Cement Co., Ltd., à Hongkong. Ces fours forment une partie d'un contrat relatif à une usine ayant une capacité de 2,000 tonnes de ciment par semaine, assuré par VICKERS-ARMSTRONGS LTD.,

Die Abbildung zeigt zwei der patentierten Vickers-Reflex-Drehöfen während der Montage auf dem neuen Werk der Green Island Cement Co., Ltd., Hongkong. Diese Öfen bilden einen Teil des, der Firma Vickers-Armstrongs Ltd., erteilten Auftrages für die vollständige Fabrik mit einer wöchentlichen Kapazität von 2,000 t Zement.

La figura representa dos de los hornos rotatorios Reflex patente Vickers, durante su montaje en la nueva fábrica de la Green Island Cement Company, Limited, de Hongkong. Estos hornos forman parte del pedido de una fábrica completa para una capacidad de 2,000 toneladas semanales de cemento, obtenido por la Vickers-Armstrongs Limited.

All Enquiries to Works:

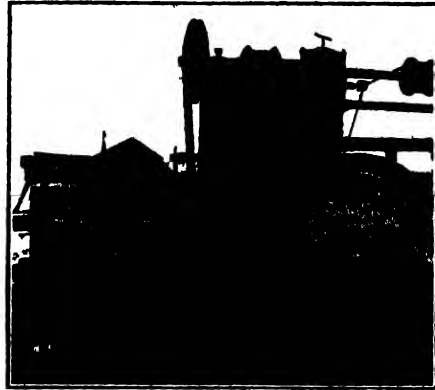
BARROW - IN - FURNESS.

Head Office: VICKERS HOUSE,
BROADWAY, LONDON, S.W.1.

Greater POWER!

The replacement, by RENOLD Stock Drives, of obsolete Driving methods means less friction loss in transmission, therefore greater power is available

- * Official tests have proved that a typical Renold Drive will operate at over 98 per cent efficiency, whilst all Renold Drives will give long service, maintained efficiency, and freedom from breakdown



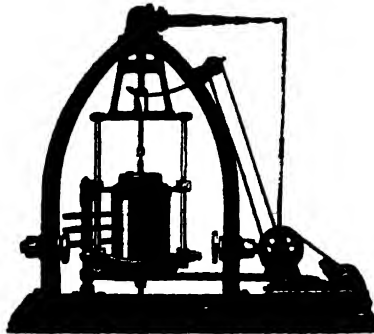
*Two Renold Stock Chain Drives
on a Jutlandia Concrete Mixer*

**Send for "Stock Drives"
Booklet Ref. No. 016/09**

HANS RENOLD LIMITED MANCHESTER ENGLAND

Branches & Stock Depots in LONDON BIRMINGHAM MANCHESTER LIVERPOOL LEICESTER LEEDS BRISTOL & GLASGOW

CEMENT TESTING MACHINES



Förderreuther's sifter for determining the size of grain of granulated or powdery substances. *Model 1931.*



Tonindustrie G.m.b.H

Abt.: Prüfmaschinenbau Berlin NW 21

Primary Rock Crushers

Jaw Crushers — Gyratory Crushers — Fairmount Crushers

Edgar Allen Crushers are simple in construction, with all parts readily accessible. Imperial manganese steel is used for the main crushing members.

These features ensure long life and freedom from frequent shut-downs for repairs, uniformity of product and low cost

Particulars sent on request.

Edgar Allen & Co., Ltd.



*Imperial Steel Works,
Sheffield.*

PAPER SACKS FOR ALL PURPOSES
THE MOST RELIABLE
FOR EXPORT TRADE.



**OUR
PAPER SACKS**
ARE MORE ECONOMICAL FOR THE
CEMENT MANUFACTURER
AND
HANDIER FOR THE USER.
SEND FOR FULL PARTICULARS.
DOWDINGS LTD.
LITTLE EATON, DERBY,
ENGLAND.

**SPECIALISTS IN THE
DESIGN AND CONSTRUCTION
OF
MECHANICAL HANDLING PLANTS
FOR CEMENT WORKS.**


**SPIRAL CONVEYORS
REPLACEMENTS AND SPARES A SPECIALITY.**

BAND CONVEYOR IN GANTRY

**NEW CONVEYOR CO., LTD., SMETHWICK,
BIRMINGHAM.**

Telephone : 0801 SMETHWICK.
Telegrams : APTITUDE BIRMINGHAM.

Representative,
Mr. R. McDOUGALL.



BUY YOUR WAGONS FROM THE ACTUAL MAKERS

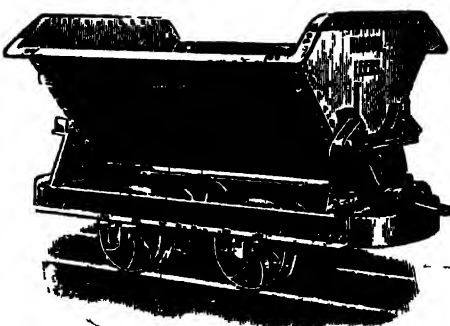
SAVE ON YOUR FIRST COST—GET BETTER SERVICE

HUDSON'S QUARRY TIPPING WAGONS

are specially constructed to stand rough usage. For over 60 years Hudson's have specialised in the manufacture of Wagons of every description.

**TRACK AND ALL ACCESSORIES,
STEAM & DIESEL LOCOS.**

WRITE FOR CATALOGUE.



LONDON OFFICE:
21, Totten Street,
London, E.W.1.
Telephone:
Victoria 1324.

ROBERT HUDSON LTD.

38^A BOND ST., LEEDS

Works: GILDERSOME FOUNDRY, near LEEDS

Telegrams & Cables (all offices): "RALETRUX"

Also at
Johannesburg, Durban,
Salisbury, Bulawayo,
Lima, Lima, Laiba,
Singapore, Calcutta.

CONCENTRA ROTARY KILNS



FOR BURNING

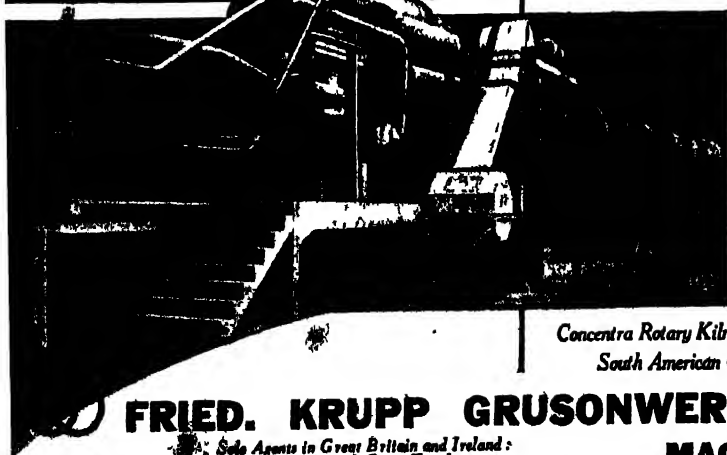
Cement clinker on the Dry and Wet Processes.

FOR SINTERING

i. e., Calcining Limestone, Magnesite, Dolomite, Barytes, Bauxite, Soda, Alumina, etc.

Low power and fuel consumption.

Great saving in initial cost. Ask for our pamphlet.



Concentra Rotary Kiln with Oil Firing in a South American Cement Factory.

FRIED. KRUPP GRUSONWERK, A.-G.

*Sole Agents in Great Britain and Ireland:
J. Holland and Co., Engineers,
Abbey House, 2, Victoria Street, London, S.W.1.*

MAGDEBURG.

PATENTS AND REGISTERED TRADEMARKS—
 " HELIPEBS " " BALLPEBS " " OHROMOIDS "
 " HOLPEBS " " TWYNPEBS " " HELLOIDS "

FOR 20
YEARS

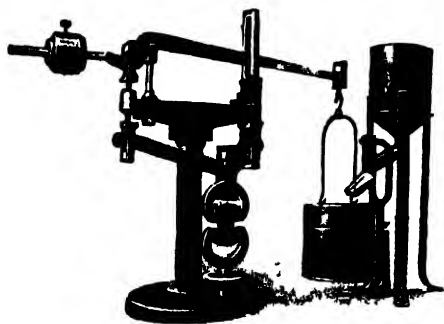
PIONEERS

FOR 20
YEARS

IN THE MANUFACTURE OF
GRINDING MEDIA
 FOR THE CEMENT INDUSTRY

HELIPEBS LIMITED
 — PREMIER WORKS —
 GLOUCESTER, ENG.

Cement Testing Machines



Machines pour éprouver
le ciment

Zementprüfmaschinen

Maquinas para ensayos
de cementos

OSCAR A. RICHTER

Güterbahnhofstr. 8
DRESDEN-A.1

Considerable Reductions in Cost of Production are achieved by Burning Cement in a Lepol-Kiln after the Polysius-Lellep process

Our
guarantee
reads :

Results
confirm

100,000 calories—used for 100 kgs. of well-burnt clinker.

again and again the remarkable economy, capacity and safety of the

LEPOL - KILN

Kronstaedter Portlandzementfabrik Kugler & Cie., A.G., Kronstadt-Brasov, 16th Sept., 1931

... The guaranteed kiln-output of 200 tons was reached and surpassed after a working period of 10 days. The consumption of heating oil was **86.566** calories for 100 kgs. of well-burnt clinker instead of **105.00** calories guaranteed. Moreover, the strength of the cement far exceeds the guarantees given.

Société Anonyme des Ciments Luxembourgeois, Div. Esch-s-Alz, 23rd Oct., 1931

... The guaranteed output has been easily surpassed. The kiln constructed for an output of 250 tons of clinker in 24 hours has produced up to **275** tons during a test, and we feel sure that this output could be permanently attained. The coal-consumption, which was guaranteed at 100,000 calories, only amounted to, **88.180** calories for 100 kgs. of clinker. This figure represents the average consumption for one month, during which we only worked with about 220 tons for 24 hours. Further during this period the kiln was stopped twice on account of scarcity of order. The granulation of the raw-material is effected without any difficulty, and as the feeding is absolutely regular the kiln-service is simpler than with our old kilns.

Cementos Rezola, S.A., San Sebastian, 24th Oct., 1931

... Output of well-burnt clinker **238.50** tons for 24 hours, coal-consumption **85.764** calories for 100 kgs. of clinker. In this way the guaranteed figures are easily surpassed.

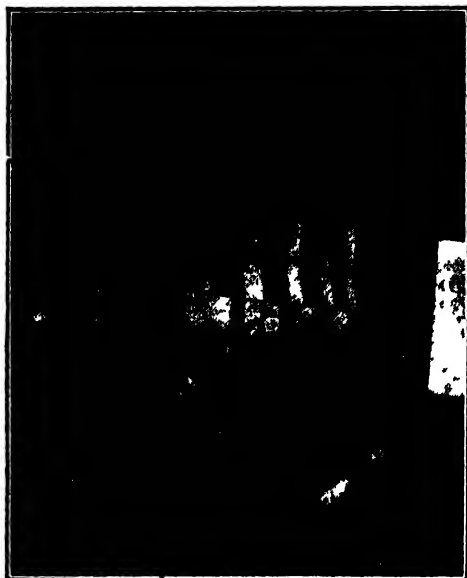
All information and advice from :—

POLYSIUS

G. POLYSIUS A.-G., DESSAU (GERMANY)

Sole Agents in Great Britain :—

JAMES MCKEAN & CO., LTD., EVELYN HOUSE, 101, FINCHBURY PAVEMENT, LONDON, E.C.2



Six Hum-mer Screens in Cement Plant.

CLOSED CIRCUIT GRINDING PROVES SUCCESSFUL

Hum-mer Screens installed in conjunction with Dry Grinding Mills at Nazareth Cement Co. produce the following results :—

1. Increased Capacity from 8·2 to 10·4 tons per hour.
2. Power, reduced from 20·6 to 15·7 Kilowatt Hours per ton.
3. Fineness increased from 22·3% to 29·9% of 200 Mesh Tons per hour.
4. Improvement in Performance 65%.



MINING & INDUSTRIAL EQUIPMENT LTD.

ASSOCIATED WITH INTERNATIONAL COMBUSTION LTD.

11, Southampton Row, London, W.C.1.

Works: Derby & Erit.



Telephone :
HOLBORN 7277 (3 Lines).

Telegrams and Cables :
HARDRAYMIL, WESTCENT, LOND.



IT PAYS TO WEIGH THE RIGHT WAY

Investigate the advantages of the Avery way. Keep your profit up in the factory.

Write for particulars to I. V. W., Service Dept. W. 1548, W. & T. Avery, Limited, Soho Foundry, Birmingham.

RICHTIGE VERWIEGUNG MACHT SICH BEZAHLT.

Prüfen Sie die Vorteile der "Avery" Wiegemethoden und sichern Sie Ihrem Betriebe dadurch den Gewinn.

Schreiben Sie wegen ausführlicher Einzelheiten an I. V. W. Service Dept. W. 1548, W. & T. Avery Ltd., Soho Foundry, Birmingham, England.

PESER EXACTEMENT EST UNE SOURCE DE PROFITS.

Examinez les avantages de la méthode "Avery." Appliquez-la dans votre usine pour vous assurer des bénéfices.

Ecrivez à I. V. W. Service Dept. W. 1548, W. & T. Avery Ltd., Soho Foundry, Birmingham, Angleterre, qui vous fera parvenir tous renseignements utiles.

PESAR DE MANERA EXACTA DA PROVECHOS.

Examine las ventajas del método AVERY. Mantenga su provecho en su fábrica. Pida informaciones de: I. V. W. Service Dept. W. 1548, W. & T. Avery Ltd., Soho Foundry, Birmingham, England.

FELLNER & ZIEGLER

FRANKFORT on MAIN-WEST, GERMANY.

A.-G.



COMPLETE INSTALLATIONS FOR CEMENT WORKS



The above is an illustration of one of our rotary Kiln installations 164 feet long by 10 feet diameter, provided with our patent enlarged calcination zone 30 feet long by 17 feet diameter, and waste heat boiler plant. The output is 300 tons per day of highest quality uniformly burnt clinker produced at lowest possible fuel consumption.

Sole Representatives for British Territories:
J. DARNLEY TAYLOR & CO., LTD., Engineers,
 Cecil Chambers, Strand - - - London, W.C.2.
 Telephone No.: Temple Bar 7358 Telegrams: "Idryall, Rand, London."

INSTALACIONES COMPLETAS DE FABRICA DE CEMENTO

Esta figura representa una instalación de hornos giratorios de 3 m de diametro y de 50 m de largo, con zona de calcinación ensanchada de 5 m de diametro y 9 m de largo, con recuperación de los gases de escape. Con un rendimiento de 300 toneladas por día, fornece un clinker uniforme de mejor calidad, el consumo de combustible siendo reducido lo mas posible.

FELLNER & ZIEGLER A.-G.
 Frankfurt a/M.-West, Alemania.

VOLLSTÄNDIGE EINRICHTUNG VON ZEMENTFABRIKEN

Diese Abbildung stellt eine Drehofen-Anlage von 3 m Durchmesser und 50 m Länge mit patentierter erweiterter Kalzinierungszone von 5 m Durchmesser und 9 m Länge, unter gleichzeitiger Verwendung der Abhitze, dar. Bei einer Leistung von 300 Tonnen täglich liefert sie bei niedrigstem Brennstoffverbrauch einen gleichmässigen hochwertigen Klinker.

FELLNER & ZIEGLER, A.-G.
 FRANKFORT, a/M.-WEST.

INSTALLATIONS COMPLÈTES D'USINES À CIMENT

Cette figure représente une installation de fours rotatifs de 3 m de diamètre et d'une longueur de 50 m, à zone élargie de calcination brevetée d'un diamètre de 5 m et d'une longueur de 9 m, avec récupération des gaz perdus. Ayant un rendement de 300 tonnes par jour, elle fournit un clinker régulier de la meilleure qualité, en réduisant en même temps autant que possible la consommation du combustible.

FELLNER & ZIEGLER, A.-G.
 Frankfurt a/M.-West, Allemagne.

INDUSTRIAL REVIVAL

AND

"THE ELECTRICAL ENGINEERS TO THE CEMENT INDUSTRY"

The economics of plant modernization demand action at the first signs of trade revival. The manufacturer who waits for prosperity before overhauling his equipment may wait in vain.

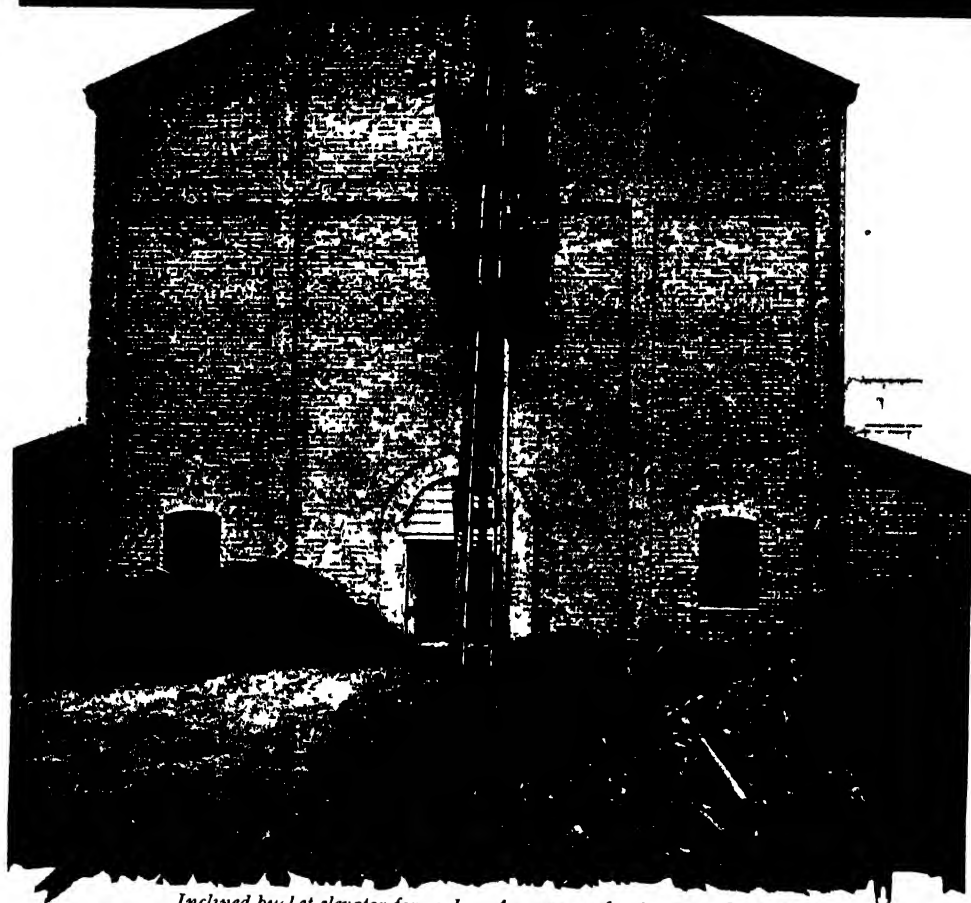
The great cement industry is not exempt from this need for improvement and extension of manufacturing facilities. Now is the time to look to your equipment ; in the case of electrical plant now is the time to consult Crompton Parkinson Ltd., whose facilities for the modernization of electric power plant are exceptional. They include the **services of expert Application Engineers** to investigate without charge your power problems, in collaboration with your own Staff or Consultant; a flexible system of **Deferred Payments** for all products of the Company ; a **range** of electric motors from which all needs can be met promptly and exactly ; and experience and **manufacturing facilities** which are unsurpassed.

No electrical manufacturers have had so much experience in the requirements of the cement and allied industries. All who contemplate the extension or modernization of existing, or the equipment of new, mills, therefore, should investigate the services available. Inquiries should be addressed to "G.S.D." Crompton Parkinson Ltd., Bush House, London, W.C.2.



QUISELEY & CHELMSFORD

CONVEYORS



Inclined bucket elevator for coal Any required capacity and centres.

Whatever the requirements for conveyors or elevators, Ewart Chainbelt Co., Ltd., with over fifty years experience, can meet any problems and, at the same time, provide a system which is not only reliable and extremely durable, but which will take the minimum of power for its operation. Enquiries are invited and advice will be gladly given in connection with any projected scheme.

EWART

CHAINBELT CO. LTD., DERBY, ENGLAND

Telegrams : "Chainbelt, Derby."

Telephone : Derby 139

CRUSHING SCREENING CONVEYING



CEMENT
SAND
GRAVEL
LIMESTONE
COAL
COKE
ORE
ETC., ETC.

Consult Fraser and Chalmers on all crushing, screening and conveying problems. This company has been entrusted with the design and manufacture of most of the largest plants in Great Britain as well as several important plants in Europe. A wide experience and complete understanding of the requirements in this field are placed unreservedly at your service.

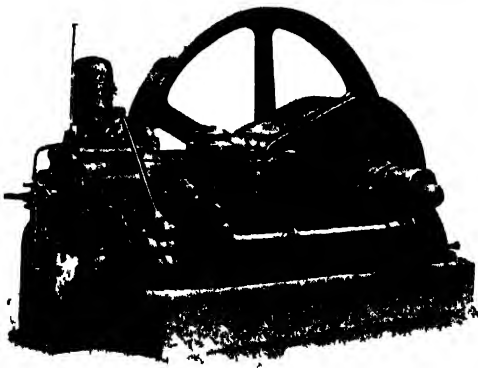
FRASER & CHALMERS ENGINEERING WORKS

(Proprietors The General Electric Co., Ltd.),

ERITH, KENT.

LONDON OFFICE: MAGNET HOUSE, KINGSWAY, W.O.2.

For Cheapest Power specify **RUSTON** Engines !



The Ruston-Hornsby Class "H.R." Cold Starting Oil Engine runs on cheap low-grade fuel oils. It is a reliable "long-life" power unit for high performance at low cost, and is unsurpassed for driving machinery.

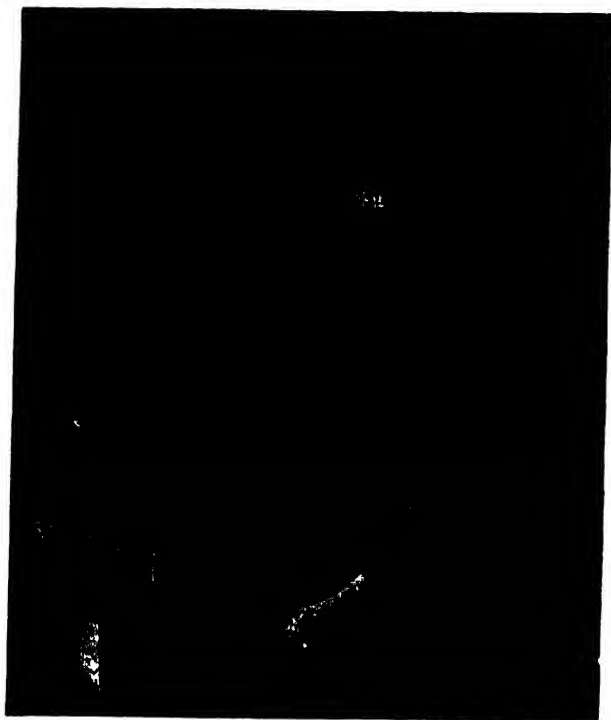
Made in sizes:—
 Single Cylinder 10 to 66 B.H.P.
 Double Cylinder 76 to 132 B.H.P.
 Four Cylinder 152 to 264 B.H.P.

Send for **FREE** catalogue.

Ruston & Hornsby Ltd.
Lincoln.

Klöckner-Steel Balls and Steel Rolls (Cylpebs),

made of special steels with great natural hardness as, e.g., special open-hearth steel, chromium steel, chromium-molybdenum steel, silicon steel and manganese steel.



Klöckner-Boulets et cylindres en acier (Cylpebs)

fabriqués avec des aciers spéciaux de grande dureté naturelle, tels que acier Martin spécial, acier au chrome, acier au chrome-molybdène, acier au silicium et acier au manganèse.

Klöckner-Bolas de acero y cilindros de acero (Cylpebs)

hechos de aceros especiales de gran dureza natural, tales como acero de forja, acero al cromo, acero cromo-molibdeno, acero al silicio y acero al manganeso.

Klöckner-Stahlkugeln und Stahlrollen (Cylpebs)

aus naturharten Spezialstählen wie Siemens-Martin-Spezialstahl, Chromstahl, Chrom-Molybdänstahl, Silizium- und Manganstahl.

Klöckner - Werke	A.-G.	Georgs-Marien-Hütte	Osnabrück
Germany	Allemagne	Alemania	Deutschland

'CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE

VOL. IV. No. 12.

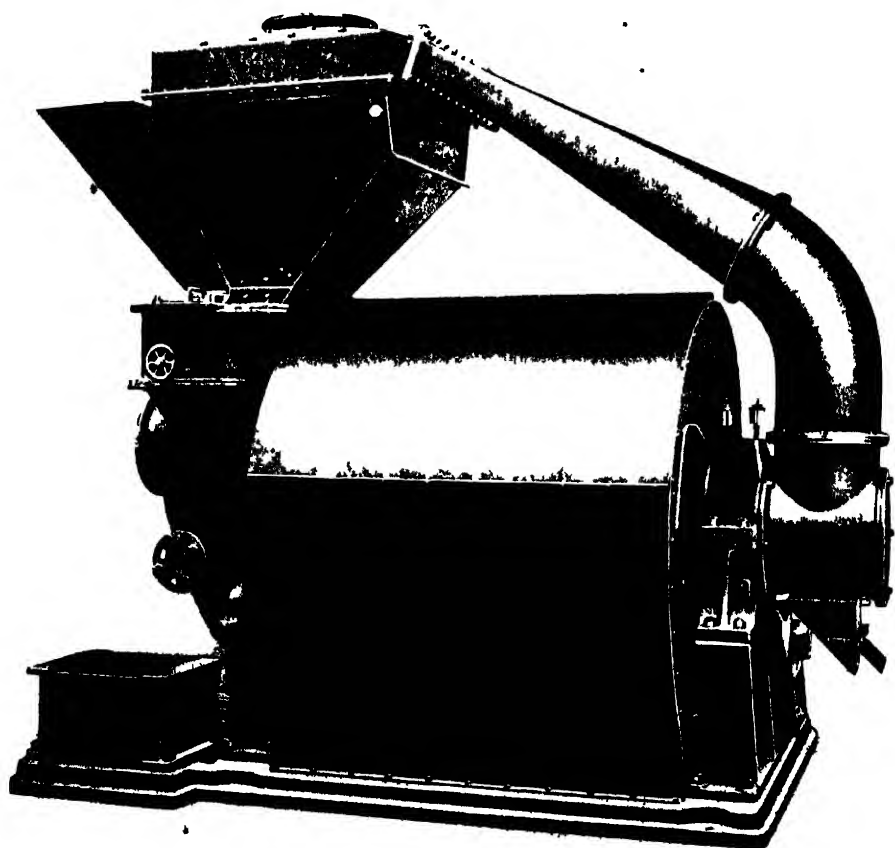
DECEMBER, 1931.

LEADING CONTENTS

	Printed in English. Page.	Publie en Français. Page.	In Deutsch Gedruckt. Seite.	Editada en Español. Pág.
Revision of the British Standard Portland Cement Specification	1339	—	—	—
Slurry Ring 49ft. Long in a 207ft. Rotary Kiln. By O. Frey	1341	—	—	—
Le collage contre l'enveloppe d'un four rotatif de 63 m. de longueur d'un cylindre annulaire de boue de 15 m. de longueur	—	1369	—	—
Ein Schlammringansatz von 15 m. Länge in einem Drehofen von 63 m. Länge	—	—	1409	—
Un anillo adherente de pasta, de 15 metros de longitud en un horno de 63 metros	—	—	—	1449
Effect of Gypsum on the Soundness of High- limed Clinker. By Dr. O. Goffin and G. Mussnug	1344	—	—	—
L'influence du gypse sur la stabilité de volume des clinkers riches en chaux	—	1373	—	—
Der Einfluss von Gips auf die Raumbeständigkeit kalkreicher Klinker	—	—	1412	—
Efecto del yeso en la estabilidad de volumen del clinker alto en cal	—	—	—	1452
The Mineralogy of Cement. By A. C. Davis, M.Inst.Mech.E., M.Inst.C.E.I., F.C.S.	1351	—	—	—
Etude minérale du ciment	—	1392	—	—
Die Mineralogie des Zements	—	—	1432	—
Mineralogía del cemento	—	—	—	1471
Recent Developments in the Wet Process of Cement Manufacture. By E. Schirm	1355	—	—	—
Les nouveaux procédés pour la cuisson de la boue	—	1397	—	—
Neuere Schlambrennverfahren	—	—	1436	—
Nuevo método de cocción por vía húmeda	—	—	—	1476
Progress in Cement Research During 1930.— III. By O. F. Honus	1366	—	—	—
Les progrès relatifs au ciment, pendant l'année 1930.—III.	—	1406	—	—
Fortschrittsberichte über Zement im Jahre 1930.—III.	—	—	1446	—
Resúmen de los progresos del cemento en el año 1930.—III.	—	—	—	—

'BABCOCK'

PULVERISED FUEL EQUIPMENT
THE FULLER-BONNOT PULVERISER MILL
FOR DIRECT & SEMI-DIRECT FIRING
OF CEMENT KILNS



ROBUST — RELIABLE — ECONOMICAL

A slow-speed Pulveriser of absolute dependability. Gives constant fineness of grinding. For outputs from 1,500 to 10,000 lbs. coal per hour.

BABCOCK & WILCOX,
LIMITED

Babcock House, Farringdon St., London, E.C.4
Telephone: CITY 6470.

P.O. Bally Dist. Howrah (W.B.)

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

THE INTERNATIONAL FOUR-LANGUAGE CEMENT JOURNAL

MANAGING EDITOR: H. L. CHILDE. CONSULTING TECHNICAL EDITOR: S. G. S. PANISSET.

ENGLISH SECTION

PARTIE FRANÇAISE PAGE 1369

DEUTSCHER TEIL SEITE 1409

SECCIÓN ESPAÑOLA PÁG 1449

Revision of the British Standard Portland Cement Specification

THE ideal specification from the cement manufacturers' point of view is one that imposes no restrictions upon the method of manufacture but merely states a definition, together with certain requirements as to fundamental properties such as strength, stability, setting time, and freedom from adulteration or undesirable impurities. The British Standard Specification for Portland cement* (revised 1931) has not arrived at this stage yet, but an important step has been taken in the right direction because the maximum ratio of lime to silica and alumina, which in previous editions was 2.9, has been raised to 3.0. This alteration gives scope for improvement in quality and has also removed a handicap in dealing with competition from other countries where manufacturers were able to make cement of higher lime content than that allowed by the B.S.S., with advantage to strength tests.

The fineness restrictions still remain in the specification, as it is not easy to eradicate the notion that fineness is a virtue in itself and to replace it with the truth that it is only a means to an end. Moreover, British manufacturers have

* Obtainable from British Engineering Standards Association, price 2/2 by post.

prejudiced the claim for entire freedom in fineness by consistently grinding to much lower residues than allowed by the specification.

The neat cement tensile test is left out of the new specification, thus bringing it into line with practically all other national specifications; another improvement welcome to manufacturers is the deletion of the 28-days' tensile test of one part of cement to three parts of sand. This latter test was one of very little value, in determining the quality of cement, and was becoming ignored by the majority of testers because of the delay involved. It is now possible for the whole of the B.S.S. tests to be completed in seven or eight days. The strength tests demanded are tensile tests of 3 to 1 sand mixtures at 3 and 7 days, the minima being 300 and 375 lbs. respectively. These are high figures, and represent a standard of quality of which British manufacturers may be proud. A decided advance in the specification is the introduction of a normal consistency test for determining the proportion of water required for the neat paste from which the proportion for sand tests is calculated. This will help to remove one of the factors which led to variability of tests as between one tester and another. In addition the word "patting" as applied to the filling of the briquette moulds is now replaced by "beating," and thus another ambiguity as to the means of briquette making disappears.

An important change in the specification is the omission of the aeration period of 24 hours before making soundness and tensile tests. There was no good reason for this aeration before testing, because tests so made did not reveal the quality of the cement in the sack or cask. It should be appreciated, however, that the change increases the severity of the specification. The boiling period for the soundness test is reduced from six to three hours.

In addition to the lime content alterations already mentioned, other chemical modifications in the new specification are a reduction of the permissible insoluble content from 1.5 to 1.0 per cent. and an increase of the loss on ignition from 3 per cent. to 4 per cent. for cement manufactured, sampled, or tested in hot climates. The former change is of no moment, but the latter may be adversely criticised because it fails to define what is a hot climate and incorrectly implies that what is a defect in one country is acceptable in another. An innovation that manufacturers will welcome is the fixing of a period for the time of gauging of the test block for the setting-time test; this is to be not less than three nor more than five minutes excluding the time taken for filling the mould. The amount of human energy put into the gauging operation is, of course, indefinable, and will remain a variable factor influencing the setting-time result, but the minimum of three minutes gauging time will help to eliminate the "false set" phenomenon which, although of no real importance, has disturbed the minds of some testers.

A minor change that has been made is in the testing sieves, which have been brought into line with the standard specification for sieves. The 170 B.S.S. sieve now takes the place of the 180 sieve, the size of the aperture being 0.0035 in. instead of 0.0038 in., while the 72-mesh sieve replaces the 76-mesh sieve, with an aperture of 0.0083 in. instead of 0.0088 in. These changes are negligible in their effect upon the fineness test results.

The vexed questions of a specification for rapid-hardening cement and for compression tests are still undecided, but according to a foreword to the specification they are receiving consideration with the help of the Building Research Station. It will probably be agreed, however, that the changes made are drastic enough for one revision, and the Committee responsible for the specification is to be congratulated for its courage and common sense.

Slurry Ring 49 ft. Long in a 207 ft. Rotary Kiln.

By O. FREY.

THE formation of rings in the clinkering and calcining zones of the rotary kiln is not uncommon. The case which will now be discussed is of special interest, first because of its rarity, and secondly in view of the phenomena which accompanied it.

The average composition of the raw material and the hydraulic and silicate moduli were

SiO ₂	..	..	..	..	..	..	14.18 per cent.
R ₂ O ₃	..	..	..	..	..	..	3.95 " "
CaO	..	..	..	..	..	..	43.69 " "

Hydraulic modulus, 2.41; Silicate modulus, 3.50.

The properties of the raw meal thus did not fall within the normal limits. This particularly refers to the high silicate modulus, 3.50, as a direct result of which the raw meal clinkered at a very high temperature, various determinations of which gave values 1520-1530 deg. C. The properties of the raw material slurry were quite normal, viz., 7-8 per cent. residue on the 180 sieve, 36 per cent. water, and a weight of 1,670 g. per litre. The high clinkering temperature combined with the great difficulty in opening up the raw materials may be the secondary cause of the further phenomena which accompanied the formation of the slurry ring.

The resulting cement had the following percentage composition:—

SiO ₂	..	..	..	..	..	..	19.62
R ₂ O ₃	..	..	..	..	..	..	7.60
CaO	..	..	..	..	..	..	64.50
MgO	..	..	..	..	..	..	1.80
SO ₃	..	..	..	..	..	..	1.70
CO ₂ + H ₂ O	..	..	..	..	..	..	4.00
Alkalis	..	..	..	..	..	..	0.88
Silicate modulus	..	..	..	..	..	..	2.58
Hydraulic	..	..	..	..	..	..	2.37

The hydraulic modulus indicates that the cement was just below the expansion limit. We are thus dealing with a product which falls on the uppermost limit for normal cements of the first quality.

As a further help towards understanding the chemical factors contributing to the formation of the slurry ring, the properties and composition of the coal ash must be considered. The coals used were a bituminous coal and a semi-anthracite, with ash of the following composition:

Bituminous coal. Semi-anthracite.

SiO ₂	"	..	..	..	..	42.80	45.55
R ₂ O ₃	"	..	..	..	..	38.50	44.50
CaO	..	..	..	..	..	7.00	5.00
MgO	..	..	..	..	..	4.68	1.80
SO ₃	..	..	..	..	..	4.25	2.55
CO ₂ + H ₂ O	..	..	..	..	..	—	—
Alkalis	..	..	..	..	..	2.77	0.60
CaSO ₄	..	..	..	..	..	7.32	4.33

Thus the ash has a relatively very high CaSO_4 content, which in the gas coal is almost twice as great as in the anthracite coal. The ash of the mixture as used in the kiln had the following composition :

SiO_2	..	..	..	..	..	..	44.15
R_2O_3	..	..	..	..	..	..	40.00
CaO}	..	..	..	..	..	..	5.61
MgO}	..	..	..	..	..	..	3.00
SO_3	..	..	..	..	..	..	4.15
Alkalis	..	..	..	..	..	..	3.09
CaSO_4	..	..	..	..	..	..	7.05

The high CaSO_4 content of the coal ash was the direct cause of the formation of this excessively large slurry ring over 49 ft. long.

For the better understanding of the action of the flame, Fig. 1 shows the position of the slurry ring in relation to the flame and the rotating raw material ; 1 is the direction of the flame ; 2, the slurry ring ; 3, the raw material ; 4, chains.



Fig. 1.

Obviously the composition of this abnormal ring is interesting, and samples were therefore taken in four positions, viz., at the highest point, in the centre, and nearest the flame. The analyses were as follows :—

		End nearest flame.	Centre (1).	Centre (2).	End away from flame.
SiO_2	.. ..	23.00	23.40	23.60	19.00
R_2O_3	.. ..	7.50	5.50	7.30	7.00
CaO}	.. ..	60.00	44.25	44.60	40.00
MgO}	.. ..	1.70	1.80	1.70	2.10
SO_3	.. ..	4.59	20.74	20.06	28.90
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	.. ..	0.40	0.70	0.20	0.20
Alkalis	.. ..	2.21	3.61	2.54	2.80
CaSO_4	.. ..	7.62	35.26	34.00	49.13

It will be seen that the CaSO_4 content of the slurry ring increases in a marked manner on passing up the kiln, and that the increase continues until the end of the ring is reached. The break in the CaSO_4 curve shown by the third sample (Centre 2) does not seem to agree with the general observations. It would appear that a slight error has crept in at this point, but this could not be checked since the ring had been removed during the period in which the analyses were being completed. This agrees with the fact that in this case the kiln gases became increasingly richer in sulphuric acid and CaSO_4 on passing up the kiln.

As a consequence of the extremely high temperature in the kiln, the CaSO_4 of the coal ash must have fallen on to the material in the kiln as a fine liquid spray, thus making it sticky. This extended over a long period, and thus a ring of great magnitude had time to build up. Whether in view of the high temperature prevailing the CaSO_4 was wholly or partially dissociated in its passage through the clinkering zone of the kiln, or whether owing to the short time required for this passage it remained undissociated, is a secondary question, the answer to which cannot alter the facts of the case. It suffices to point out that CaSO_4 dissociates at about 1400 deg. C., which temperature was considerably exceeded

in the kiln. The temperature was thus high enough for partial dissociation if the time between leaving the flame and reaching the ring was long enough to enable the reaction to commence.

If we consider the possible part played by the silica and sesquioxide content of the coal ash in the formation of the CaSO_4 ring, we can only decide that they are of very minor importance.

ANALYSIS OF RING FORMED IN CLINKERING ZONE.

SiO_2	..	..	..	..	..	..	..	29.00
R_2O_3	..	..	..	..	..	..	..	19.00
CaO}	..	..	..	..	..	..	..	48.00
MgO}	..	..	..	..	..	..	..	1.40
SO_3	..	..	..	..	..	..	..	Trace
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	..	..	..	..	..	..	..	0.60
Alkalis	..	..	..	..	..	..	..	2.00

The formation of the clinker ring was due to the coal ash from which the intense action of the flame had dissociated the whole of the CaSO_4 . The clinker ring was actually completely free from sulphate. The following comparison is interesting in that it gives a general view of these various phenomena.

	End of CaSO ₄ ring.			Clinker ring.	Pure cement.
SiO ₂ 19.00	29.00	19.76
R ₂ O ₃ 7.00	19.00	7.17
CaO 40.00	48.00	67.33
MgO 2.10	1.40	2.22
SO ₃ 28.90	Trace	2.19
CO ₂ + H ₂ O		.	. 0.20	0.60	—
Alkalis 2.80	2.00	1.33
CaSO ₄ 49.13	--	3.72

It must be mentioned in conclusion that the kiln worked under forced draught. The resulting lengthening and pointing of the flame may have contributed to the production of conditions in the kiln favourable to the formation of this rarely occurring deposit of high CaSO_4 content. A further factor that probably exerts an influence is that the conditions were such as to necessitate working the kiln with a considerable excess of air.

The prevention of destructive deposits such as that here described can only be ensured by eliminating the basic cause of their formation. Thus in the present case it is necessary to replace the coal by a fuel giving an ash free from sulphate.

"THE CONCRETE YEAR BOOK, 1932."

(The Encyclopædia of Concrete)

Edited by Oscar Faber, O.B.E., D.Sc., M.Inst.C.E., and H. L. Childe.

Again enlarged by the addition of new features, including a chapter on "CONSTRUCTION COSTS," giving illustrations, details, and costs of more than a hundred concrete and reinforced concrete structures, of all descriptions, recently completed or now in course of construction.

770 pages. Price 3s. 6d. ; by post 4s. 3d., from

CONCRETE PUBLICATIONS LIMITED,

20 DARTMOUTH STREET, WESTMINSTER, LONDON, S.W.1.

Ready January 1.—Make sure of your copy by ordering now.

Effect of Gypsum on the Soundness of High-limed Clinker.¹

By Dr. O. GOFFIN and G. MUSSGNUMG.

It is general knowledge that the soundness of Portland cement clinker can be improved to a known extent by various means, *e.g.*, by spraying with water and by finer grinding, by the addition of substances having no tendency to expansion, such as blastfurnace slag, trass, siliceous materials, etc., and by the addition of chemicals. There are, however, very few numerical data in the technical literature on the extent to which gypsum influences the soundness of clinker.

Erdmenger² proved decades ago that cements of high clay content (*i.e.*, low in lime) having a tendency to expansion are rendered free from expansion by gypsum, but that this is not the case with normal (high-limed) cements. The question was again contested, although only briefly, by Tippmann³ and Kuhl⁴ in their contributions to the problem of the hardening of Portland cement. It is notable that up to the present no comprehensive systematic research has been carried out on this subject, and in so far as the standard specifications restrict the addition of gypsum to 3 per cent. it may even be said that there is no practical need for such an investigation. The remarkable behaviour of various high-limed works and experimental clinkers led us, among other matters, to investigate more closely the effect of gypsum on the soundness of Portland cement clinker.

Guttman and Gille⁵ give the following formula for the calculation of the maximum lime content in clinker:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 0.64(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mn}_2\text{O}_3) \text{ per cent.}$$

$$\frac{1.07\text{CaO} - [0.38(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mn}_2\text{O}_3) + 1.76\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.75\text{SO}_3]}{\text{SiO}_2} \leq 3$$

They term this quotient the "lime modulus." According to Kuhl⁶ the highest permissible lime content in clinker is given by the following formula, which he calls the "lime saturation factor":

$$\frac{\text{CaO}}{2.8\text{SiO}_2 + 1.65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.70\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0.71\text{Mn}_2\text{O}_3} \leq 1$$

Kuhl's formula has been extended by the expression in brackets to include clinkers containing manganese, since this element does not exist in Portland cement clinker as a foreign body as was formerly frequently supposed. Manganese is at least equivalent to iron in its affinity for lime, as we have proved in practical experience with raw mixes containing manganese as well as by large scale experiments in the rotary kiln with Mn_2O_3 contents up to 8 per cent. This is further confirmed by Guttman and Gille in "Manganese in Cement Clinker."⁷ In the blastfurnace slag-cement industry, in which sulphide-containing blastfurnace slags almost always form part of the raw meal, Gutt-

¹ Communication to the Twelfth Technical Meeting of the Association of German Iron-Portland Cement Manufacturers, Düsseldorf, 1931.

² Wecke, "Handbuch der Zementliteratur," p. 380.

³ "Zement," 1930, p. 1234.

⁴ *Ibid.*, 1931, p. 239.

⁵ *Ibid.*, 1929, Nr. 16/18.

⁶ "Tonindustrie-Zeitung," 1930, p. 389.

⁷ "Zement," 1929, Nr. 16/18.

mann and Gille's formula is best for accurate calculations since it takes into consideration the SO_3 content, which under certain circumstances may amount to 1.5 per cent. of the clinker.

We established long ago in our works laboratory that various clinkers containing manganese could attain or exceed the limiting lime contents given by the lime modulus of 3 or the lime saturation factor of 1 without giving rise to expansion as shown by the usual soundness test-pieces. This fact was noteworthy inasmuch as Guttman and Kuhl's values represent ideal limits which cannot be attained in practice without danger of expansion.

It is a matter of experience that raw mixes rich in fusible components—which naturally include those of high manganese content—are more easily and more thoroughly opened up by burning than mixes low in fusible constituents, or such as contain the whole of the lime as carbonate, *e.g.*, those formed from

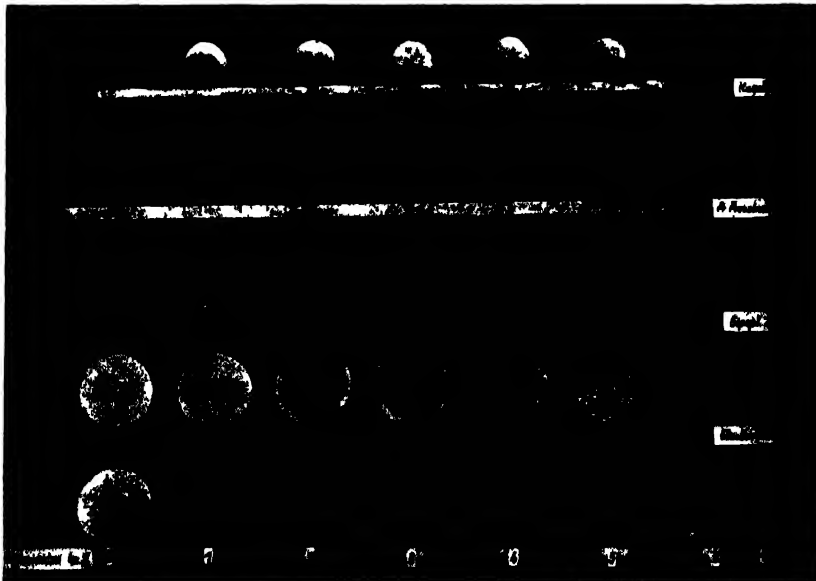


Fig. 1.

natural raw materials. In the former case, therefore, the lime content can lie nearer the theoretical expansion limit than in the case of raw meals low in fusible constituents and high in carbonate. However, this alone can scarcely account for the fact that in certain experimental and works clinkers the practical expansion limit can be above the theoretical, without the kiln and boiling tests showing any sign of expansion. We have attempted to find an explanation for the remarkable fact that clinker containing manganese can slightly exceed the maximum value laid down by Guttman and Kuhl.

The experiments undertaken to clear up this question showed that the results of the soundness test depended on the quantity of gypsum ground with the clinker. In order to obtain a more accurate estimate of this effect, various works and experimental clinkers of different lime content and with varying additions of gypsum were ground in a laboratory mill under identical conditions. It was found in these experiments that all clinkers having a lime modulus above 3, and a lime saturation factor of 1 or over, actually showed serious expansion when ground without gypsum or with a small addition of gypsum (in

general up to 2 per cent.). If, however, these clinkers were ground with 3 per cent. or more of gypsum the usual soundness tests (boiling and kiln tests) gave no indication of expansion. We accordingly submitted these high-limed clinkers to other soundness tests used in Germany to ascertain whether the effect of gypsum is also made evident by these tests.

The soundness tests on the various clinkers were carried out as follows. For the Heintzel ignited sphere test and the Prüssing compressed-pat kiln test the test-pieces were prepared in the usual way and at once tested on a hot iron plate at 300 or 160 deg. C. In the gypsum-plate kiln test, also termed the accelerated kiln test, the cement paste was placed on an absorbent surface (a gypsum slab covered with blotting paper) and after half-an-hour transferred to a hot iron plate at 100-120 deg. C. The kiln test, using pats made up on a glass plate, and the standard boiling test were carried out after 24 hours according to the usual

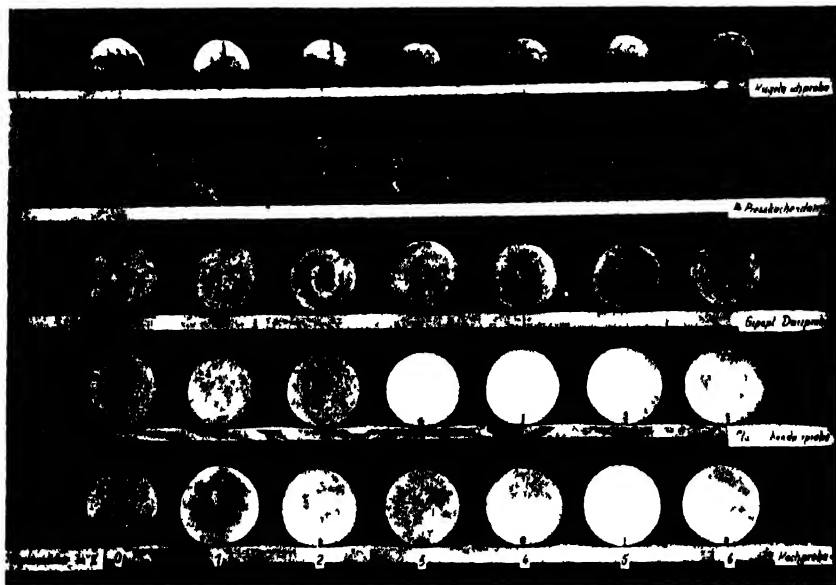


FIG. 2.

rule. The Le Chatelier test was not investigated since it has not been introduced in Germany, while in general its results approximate to those of the boiling test.

The results of the various soundness tests can be summarised as follows: The Heintzel and Prüssing tests are adequate in the case of very high-limed clinkers of high gypsum content to show a slight degree of lime expansion, such as is harmless in practice but of interest in scientific investigation. The great sensitivity of these two tests is most probably due to the fact that the cement is tested before it has set, *i.e.*, under entirely abnormal conditions as regards soundness, while in the boiling and kiln tests the test is only made when setting is complete—certainly not before 24 hours have elapsed—and the test-piece has attained a definite strength. This has already been pointed out by Kühl¹. Both the Prüssing test and the Heintzel test are for this reason too stringent, as has frequently been stated.²

¹ "Zement," 1931, p. 239.

² Kühl, "Zement u. Mörteltechnische Studien," p. 75; Schoch, "Mörtelbindestoffe," 4th ed., p. 730; "Tonindustrie-Zeitung," 1925, pp. 939, 1066, 1067.

TABLE I.

Sieve Residues on		Setting Time.		Soundness.										Tensile Strength, lb. per sq. in.				Crushing Strength, lb. per sq. in.									
				Per Cent. of Water.																							
				Initial.		Final.		21		16		25		25		25						25'		28 Water Storage.		28 Comb. Storage.	
76	180	T. M.	H. M.	Sound	Sound	Sound	Sound	Sound	Sound	Sound	Sound	Sound	Sound	Sound	Sound	Sound	28 Water Storage.	28 Comb. Storage.	1	3	7	28 Water Storage.	28 Comb. Storage.				
0	0.1	1.0	0.04	0.08	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	—	—	—	—	—	—	—			
1	0.1	0.4	2.20	5.00	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	316	434	453	476	690	2,033	4,166	5,247	7,010	8,233
2	0.1	1.5	2.00	4.50	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	368	479	434	448	673	3,116	5,546	6,387	6,993	8,681
3	0.1	1.2	2.20	4.40	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	451	532	501	501	708	4,277	6,072	6,797	8,276	9,997
4	0.1	0.6	2.30	4.50	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	444	478	540	540	734	3,896	6,186	7,466	8,987	10,523
5	0.1	0.4	2.30	5.00	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	364	501	508	513	704	3,555	6,029	7,110	8,930	9,684
6	0.1	0.4	2.30	5.10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	344	453	514	537	751	3,057	6,135	6,413	7,849	10,110

Per cent. of water for the setting time tests, 25.

1 cement : 3 standard sand mortar used for tensile and crushing tests, with 8 per cent. water.

From the numerous experiments carried out to elucidate the effect of gypsum on the soundness of high-limed clinker, and in which the same action of gypsum can always be observed, the results for two typical clinkers have been chosen and are summarised in Tables I and II.

The clinkers had the following moduli :

		Clinker 1.	Clinker 2.
Silicate mod.	.. .. .	1.68	1.73
Fe + Mn mod.	.. .. .	1.83	1.69
Hydraulic mod.	.. .. .	2.22	2.37
Lime mod.	.. .. .	2.96	3.19
Lime saturation factor	.. .. .	0.99	1.05

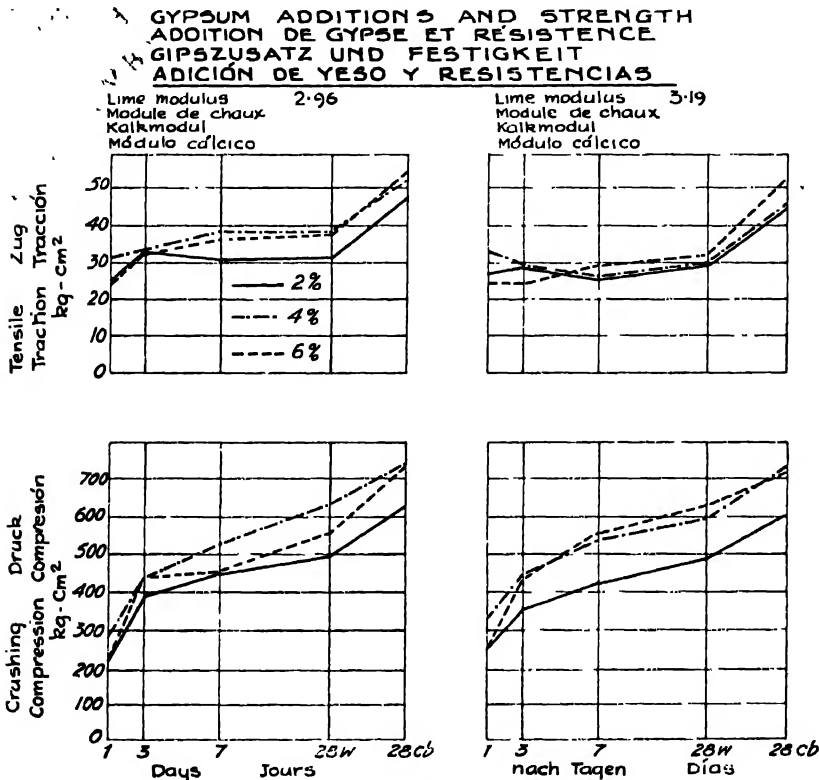


Fig. 3.

The complete data are given in the two tables, which include the results of the soundness tests, sieve residues, setting times and strengths with the different gypsum additions. Further, for better illustration, the results of the various accelerated soundness tests for the two clinkers are shown in Figs. 1 and 2. In addition the interdependence between strength and amount of gypsum is shown graphically in Fig. 3.

Fig. 1 illustrates the soundness tests on clinker No. 1; lime modulus 2.96; all test-pieces were absolutely sound. The specimens on the top row were subjected to the Heintzel test; the second row to the Prüssing test; the third row to the gypsum-plate kiln test; the fourth row to the glass-plate kiln test; and the bottom row to the boiling test.

TABLE II.

Sieve Residues on		Setting Time.		Soundness.						Tensile Strength, lb. per sq. in.						Crushing Strength, lb. per sq. in.								
				Per Cent. of Water.																				
				Heintzel Test.		Prussing Test.		Gypsum plate Kiln Test.		Glass Plate Kiln Test.		Boiling Water Test.		Standard Water Test.								Air Test.		
				76	180	Initial.	Final.	H. M.	H. M.	21	16	25	25	25	25	25	25	1	3	7	28 Water Storage.	28 Comb'd Storage.		
0	0.1	1.8	0.15	2.20	Un-sound	Un-sound	Un-sound	Un-sound	Un-sound	Un-sound	Un-sound	Un-sound	Un-sound	Un-sound	313	373	360	365	647	2,602	3,811	5,702	5,844	7,622
1	0.1	3.7	2.15	5.05	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	347	380	381	407	663	3,925	5,290	6,271	7,224	8,688
2	0.1	1.9	2.05	5.00	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	391	407	365	411	630	3,470	4,920	6,015	6,897	8,546
3	0.1	0.7	1.55	4.40	"	"	"	"	Sound	"	"	"	"	"	481	380	391	402	705	4,508	5,645	6,413	7,508	9,200
4	0.1	0.6	2.10	4.30	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	475	402	378	415	658	4,735	6,356	7,409	8,247	10,267
5	0.1	0.8	2.10	4.40	"	"	Sound	Sound	"	"	"	"	"	"	390	438	435	445	728	4,152	6,769	6,740	8,603	9,982
6	0.1	0.6	2.20	5.10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	345	327	418	439	761	3,498	6,001	7,764	8,745	10,395

Per cent. of water for the setting time tests, 25.
 1 cement : 3 standard sand mortar used for tensile and crushing tests, with 8 per cent. water.

Fig. 2 shows soundness tests on clinker No. 2, lime modulus 3.19; the different tests are shown in the same order as in Fig. 1. In both illustrations the figures along the bottom shelf indicate the percentages of gypsum.

As a result of the higher lime content all the accelerated soundness tests with 0 and 1 per cent. gypsum show considerable expansion. With 3 and 4 per cent. gypsum the test-pieces submitted to the boiling test are already sound, although not perfect; the two kiln tests, however, still show slight expansion, which cannot be identified in the photographs. It is thus seen that with increasing additions of gypsum the expansion resulting from the boiling and kiln tests diminishes or completely disappears. On the contrary, the Prüssing and the Heintzel tests show definite expansion even with still higher additions of gypsum.

Table I shows the effect of various gypsum additions on clinker No. 1, of lime modulus 2.96. It is noteworthy that the setting-time remains practically constant as the amount of gypsum is increased, and that the tensile strength on water storage remains high, corresponding to the high degree of soundness.

Table II gives the effect of various gypsum additions on clinker No. 2, of lime modulus 3.19. In the case of this clinker also the setting time remains practically unaffected by the higher additions of gypsum. In the case of all the soundness test-pieces the expansion phenomena are somewhat diminished as the gypsum is increased. This is more so in the boiling and kiln tests, and somewhat less in the Heintzel and Prüssing tests, as will be seen from Fig. 2.

The complete series of tests thus shows that it is possible to effect a decided improvement in the soundness of clinker by increasing the amount of added gypsum. Since, however, the standard specifications limit the amount of added materials to 3 per cent., these experiments are of theoretical rather than of practical value. Whether this effect of gypsum is equally evident in the case of clinkers of different composition—e.g., clinkers with abnormally low Al_2O_3 content—and with other degrees of grinding, remains to be shown by further research.

We have further attempted to establish whether mere dilution of the clinker by an indifferent material is sufficient to improve the soundness. In one case the clinker was diluted with up to 6 per cent. of the finest ground limestone and in another with sand. No appreciable effect on soundness was observed. Anhydrite, on the contrary, had the same effect as gypsum.

Summary.

The Heintzel ignited sphere test and the Prüssing compressed-pat kiln test are the most sensitive of all soundness tests for the purpose of detecting lime expansion in pure clinker.

A slight tendency to expansion can be eliminated by the amount of gypsum allowed by the standard specification, so that expansion-free cement is obtained.

The limiting values of lime content given by the formulæ of Guttman and Kühl (viz., 3 and 1 respectively) cannot be exceeded without danger of expansion, even with the most favourable raw materials and manufacturing conditions. These figures are thus to be accepted as true limiting values.

The Mineralogy of Cement.

By A. C. DAVIS, M.Inst.Mech.E., M.Inst.C.E.I., F.C.S.

(Works Managing Director, Associated Portland Cement Manufacturers, Ltd.)

It will have been seen from earlier articles that the constituents of ordinary Portland cement can be readily ascertained by the usual methods of chemical analysis, and such investigations show that good cements differ little in constitution, although the percentage of the ingredients contained in different samples varies. Chemical examination, however, does not enable the expert chemist or anyone else to determine whether a cement is of superior or indifferent quality in practical use. It would not be difficult to prepare a material containing the exact constituents of ordinary Portland cement but possessing no cementing properties whatever. The determination of the market value of the product must therefore still be left to mechanical and physical tests, which will be dealt with later.

A comprehensive knowledge of chemistry is required in dealing with Portland cement; but whereas chemistry has long been in the service of the cement industry, mineralogy is only now gradually entering this sphere, so the cement chemist passes from the chemical examination to the mineralogical in his endeavour to understand more thoroughly the precise answer to the question so often asked: "What is Portland cement?"

In the study of Portland cement, mineralogy is proving a valuable aid, for it supplements the technical and chemical investigations and has already made important disclosures. A good microscope is an indispensable item in the equipment of the cement-testing laboratory. As is well known, the mineral constituents of rocks can be identified under the microscope in thin sections with the aid of polarised light, and these petrographic methods have been applied to sections of Portland cement clinker.

The two preponderating minerals thus recognised in cement clinker are those called Alit and Celit. Other constituents are also recognisable, but these appear to arise from non-essential constituents such as iron, magnesia, and the alkalis.

Working with perfectly pure silicates of lime and aluminium, success has been attained in forming synthetically correspondingly pure compounds consisting wholly of Alit and Celit. Alit is a solid solution of tri-calcium aluminate and tri-calcium silicate, whilst Celit is a solid solution of di-calcic silicate and di-calcic aluminate. In the fused state these aluminates and silicates are soluble in each other in all proportions; but this is not the case in the cold, the mixture then splitting up into Alit and Celit, each of which has the properties of a true cement. In order that both constituents may be present the percentage composition of the cement must be between the following limits:

Silica	..	..	..	18.5 to 23.2
Alumina	..	..	..	6.1 to 11.9
Lime	..	..	..	63.1 to 68.1

Commercial cements do not reach the higher limit of lime as it is impossible to obtain industrially the higher temperature then needed in firing them, but such mixtures can be burned in the laboratory. In practice cements are not fused, and the process of manufacture stops short of fusion. The formation of these solid solutions by "fritting" the materials together at a temperature below their point of fusion is attributed to that process of diffusion of one solid into another which occurs in the case of metals. The higher the temperature the more rapid this process of diffusion. The time required also depends upon the area of the surfaces between which it can take place, and the finer the raw materials are ground the more readily is diffusion accomplished. The use of

a very high temperature for fritting followed by a very rapid cooling of the burnt material is to be avoided, because the calcium aluminate is much more soluble in the silicate at high temperatures. If the cooling is too quick a super-saturated solid solution is obtained which is in an unstable condition. The change to the stable forms is accomplished by a change of volume, which is destructive of the cohesion of the clinker.

Another view of the technology of cements was explained to the author by Messrs. Day and Shepherd, of the Geophysical Laboratory of the Carnegie Institution of New York, who had shown that tri-calcium silicate does not exist in the two-component series.

It seems clear from mineralogical studies that Portland cement has no fixed constitution, because it is not a homogeneous body but a mineralogical mixture; it is a compound of several bodies, which are Portland cement bodies or Portland cement minerals. This discovery is important and significant, as bringing us considerably nearer a final solution of the constitution of Portland cement.

Cement experts are agreed that there are not less than five Portland cement minerals. The study of them is complicated and far from easy, for they do not occur by any means uniformly in each brand of Portland cement, either in the same quantities or in the same manner, and sometimes one or more mineral is absent altogether. In the opinion of some experts, all the Portland cement materials, in spite of their diversity, have the same origin, otherwise they would not be what they are. They belong to the genus cement, burnt out of lime and clay and freed from all carbonic acid. The Portland cement minerals apparently consist of four crystalline and one amorphous mineral. Each of these has its own constitution, but the actuality of none of them has yet been discovered with any certainty. The crystalline Portland cement minerals are called Alit, Belit, Celit and Felit. The amorphous mineral has been termed vitreous or "glassy" residue.

The study of these minerals is made more difficult by the circumstance that, in the process of burning carbonate of lime and clay for the manufacture of Portland cement, the minerals are melted together and it has not been possible to separate them by any known scientific means. It cannot therefore be ascertained how the single minerals would behave if they could be isolated.

The mineral Alit is found to be a hardening factor of great energy, and this property is due to the fact that when water is added Alit dissolves readily, becomes strongly gelatinous on its surface, and so sets hard.

It has been recorded that the products of decomposition by water are substantially of two kinds; one is an apparently amorphous mass which becomes partly crystalline after a time; and the other a crystalline substance which fills all the cavities of the cement. This last substance is hydrate of lime. The amorphous mass might consist of hydrous silicate of lime, probably with an admixture of hydrous oxide of aluminium.

The ability of Portland cement to set is assumed to be due to the adhesive capacity of the amorphous mass when swelled with water, the subsequent mass, however, hardening principally upon the gradual crystallising out of hydrate of lime.

If the assumption that Alit is a body in which alumina and silica may replace one another reciprocally should prove to be true, the effect of Alit must vary according to its percentage of alumina or silica. This difference in the composition of Alit probably accounts for variations in the time of setting and in the tensile and compressive strengths of Portland cement. The percentage of alumina and silica producing the most effective Alit in order to ensure the best quality of Portland cement has, however, not yet been determined.

The dissolving of the Alit occurs primarily only on the surface, and the interior mass of the Alit body usually remains undissolved. It is probably due to this circumstance that set Portland cement has been ground up and used again as cement. When such material is again mixed with water it possesses substantial setting properties and acquires a certain hardness. The degree of this apparently depends to some extent upon the fineness of the original cement, and is more marked with coarser cements.

Alit is a body rich in lime, of which it often contains as much as 71 per cent. The more lime, therefore, in the raw mixture the greater the probability that the finished product will contain increased quantities of Alit. At the same time this lime addition may cause a surplus of lime and give rise to the danger of the presence of free lime, thus destroying the volume-constancy and spoiling what would otherwise be a good quality product.

In general, and according to present-day knowledge, it may be said that the quality of the Alit and the avoidance of free lime may depend upon the temperature at which the prepared raw materials are burnt, and this in turn must depend upon the composition of the raw materials and the process of manufacture adopted. When, for instance, the prepared raw materials are burnt at a very high temperature, the clinker may crumble to dust on cooling. This dust when mixed with water will set very slowly and give a poor tensile strength. While, on the one hand, a cement disintegrated in this manner usually contains much Belit, it has been found, on the other hand, that many specimens of cement examined contained Felit almost exclusively. This is not accounted for by a confusion of the two materials, for under the microscope the difference between Belit and Felit is so great that such a mistake is hardly possible. Probably the disintegrated cement in the one case had not been burned at so high a temperature as the products of disintegration in the other, and it has therefore been concluded that a very high temperature may yield Felit in the product and a lower temperature may yield Belit.

An interesting view concerning the mineralogy of cement and its connection with the disintegration of cement clinker when burned under very high temperatures may be quoted. When clinker is burned at a temperature higher than is necessary for its crystallisation it contains much of the mineral called glassy residue. Such clinker when allowed gradually to cool begins to form crystals, and so to lose some of its glassy character. This process causes the mass to disintegrate. If, however, such a clinker is suddenly chilled with cool water then the Portland cement glassy residue is quickly changed from its plastic condition into a hard and rigid one, and the crystallisation is made impossible. The clinker thus not only remains permanently intact in form, but it also retains the great hydraulic quantities of the glassy residue mineral in Portland cement, and thus preserves for itself its own hydraulic value.

It is clearly seen under a powerful microscope that Felit is a mineral having a well-defined double plane of fracture, plainly striped in parallel, while Alit is colourless, granular, or flaked, and with weakly defined double planes of fracture.

The last of the minerals, namely, Portland cement "glass," is believed to occupy a subordinate position in the mineralogy of cement, but experts are not agreed upon this point. According to some experience it is found that this glassy residue may under certain circumstances occupy as important a rôle as Alit, and it has been held that under certain conditions it possesses exactly the same energy for hardening. Portland cement "glass" examined under a microscope appears as a colourless glass, but in isolated cases it appears slightly yellow. When it is finely ground, made up with water and compressed, it

dissolves exceedingly slowly at ordinary temperatures. It dissolves more quickly if hot water is used, and extraordinarily quickly in an alkaline solution.

The X-ray has been used in more recent research into the compounds which may occur in Portland cement clinker, and by its aid investigations have been made regarding the constitution of cement clinker and the identification of the compounds that occur in the commercial materials. By its means investigators have shown that tri-calcic silicate exists and can be formed by the heating together under suitable conditions of a properly proportioned mixture of lime and silica. It has also been shown that lime does not enter into solid solution with di-calcic silicate in appreciable amounts, but that compositions ranging between 2 molecules lime + 1 molecule silica and 3 molecules lime + 1 molecule silica, properly heated, contain at equilibrium a mixture of tri-calcium silicate and either alpha or beta di-calcium silicate.

X-ray study of the composition 8 molecules lime + 1 molecule alumina + 2 molecules silica has shown further that a compound of that composition does not exist in the system lime, alumina and silica nor in Portland cement. On the contrary, such a mixture properly heated gives tri-calcium silicate, beta di-calcium silicate, and tri-calcium aluminate, and, if equilibrium is not complete, a small amount of lime. In addition, a special examination of the system tri-calcium silicate, di-calcium silicate, tri-calcium aluminate has shown that solid solution does not occur between either of these silicates and the aluminate in appreciable amounts. The mixtures at equilibrium contain only those three compounds.

Free lime was not found in commercial cement clinkers by the X-ray method. Investigation of the identification of lime indicates that a percentage of 2.5 could be recognised, and therefore it appears that free lime is not commonly present in commercial clinkers in amounts as high as 2.5 per cent.

The minimum amounts of the cement compounds that could be detected in controlled laboratory clinkers by the X-ray method were as follows:

	* Per cent.
Tri-calcium silicate	8
Beta di-calcium silicate	15
Tri-calcium aluminate	6
Tetra calcium alumino ferrite	15
Magnesia	2.5
Lime	2.5

Cement clinkers, representing many types of raw material and processes of manufacture, were submitted to X-ray examination, and tri-calcium silicate and beta calcium silicate were identified in each as unquestionably the most abundant constituents. Tri-calcium aluminate, tetra calcium alumino ferrite, and magnesia were identified, separately or together, in most of the clinkers, but in many of them the patterns of one or two of these latter compounds were not observed.

The results obtained in this investigation by X-ray methods are in agreement with those obtained by chemical and microscopical methods, and each serves to support and confirm the other. The collective results may be said to define the major constitution of Portland cement clinker. They indicate:

(1) That the most abundant constituents are tri-calcium silicate and beta di-calcium silicate.

(2) That there are normally present, in addition, tri-calcium aluminate, tetra-calcium alumino ferrite, and magnesia; and

(3) That free lime is not normally present in amounts as great as 2.5 per cent.

Recent Developments in the Wet Process of Cement Manufacture.

By E. SCHIRM.

THE wet process is common in cement manufacture because it results in a uniform and therefore high quality product and because the natural raw materials contain considerable water and would require preliminary drying if the dry process were used, so that there would be no economy in fuel. Even to-day the slurry is chiefly burnt in the simple rotary kiln, irrespective of the fact that this results in high exit-gas temperatures—some 400-500 deg. C.—and serious heat loss. There are, however, two processes which have gained a footing in the industry in which lower exit-gas temperatures can be guaranteed and the temperature can be limited to 350 deg. C. without difficulty. In the first of these processes chains are fixed into the upper end of the kiln: the other is the slurry spray process. In the latter, the raw material is projected into the rotary kiln as a fine spray. These two processes, together with a number of additional more recent experiments, will now be described.

The provision of chains in the upper portion of the rotary kiln has the object of increasing the surface available for the exchange of heat between gases and raw material without lengthening the kiln. The chains are distributed around the circumference of the kiln and hang from either one or both ends. Thus at every position of rotation there are chains hanging across the kiln with their lower parts dipping in the slurry. On further rotation they are withdrawn completely covered with slurry. The chains thus lift the slurry into the higher part of the kiln cross-section from which it runs and drops and wets the entire chain assembly. This serves the purpose both of offering a great surface of contact to the gases and protecting the chains from corrosion by the hot gases. The latter result can only be attained if the slurry remains fluid as long as it is in contact with the chains, which otherwise would be burnt away. It further follows that chains are only suitable for partial drying of slurry. The final drying, resulting in the crumbling of the material, must take place farther down on the surface of the kiln. That good results can be obtained by fixing chains in the upper section of the kiln has been proved at the new Neuwied-on-Rhine works of the Wicking Company, who have by this means attained a very high output per unit kiln volume. Caking of the slurry on the chain system need not be feared, since it is still relatively liquid when it comes into contact with the chains. Even when the slurry has lost a portion of its water and become more consistent there is very little tendency to cake, since the chains are continuously rubbing one against another and the adhering slurry is constantly being knocked off.

The slurry spray process is chiefly used in England. It depends upon the principle that a great surface of contact must be offered to the kiln gases if they are to give up their heat to the material to the fullest possible degree. In order to exclude caking of the raw material, constructions inside the kiln are entirely avoided and the slurry is sprayed under pressure through nozzles into the empty kiln. It is thus exposed to the gases in the form of a veil. The process is an extension of an older method of Kühl's in which the slurry was likewise converted into small particles inside the kiln. It would, of course, be desirable to work so that the slurry was dry when it reached the walls of the kiln, and the fine distribution of material in the spray ensures ideal contact between gases and material. In practice it is found that the slurry cannot be completely dried

while in suspension. If this occurs the dried material is driven back by the exit gases to the kiln inlet, and, although part of the dust is taken up by the newly formed drops, a considerable quantity passes to the stack. Thus practical conditions must be such that only partial drying takes place in suspension. The pressure at the nozzles must be diminished and the particles which reach the kiln walls must be only partially dried. The formation of dust can thus be kept within reasonable bounds, while the exit-gas temperature, using a normal slurry containing 40 per cent. of water, will be some 350 deg. C.

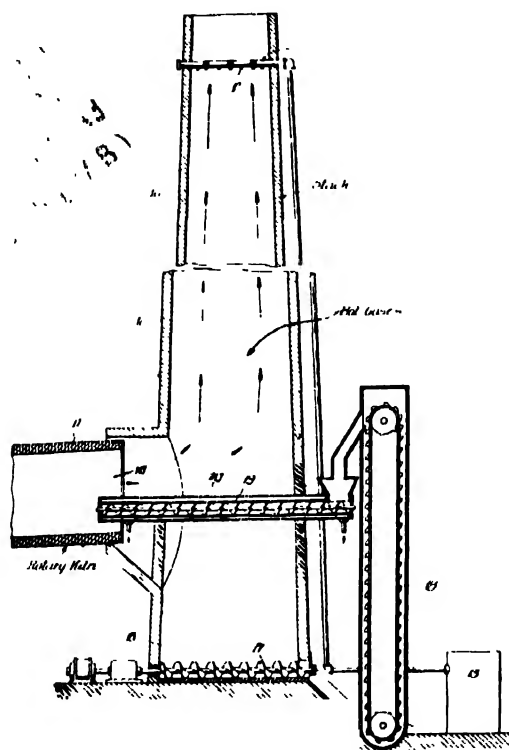


Fig. 1.

A further difficulty lies in the danger of stoppages in the narrow nozzles, which must for this reason be readily interchangeable. This is also necessary because the nozzles are worn out by the slurry in a moderate time. The feeding equipment of the kiln accordingly requires constant careful attention, since if a stoppage is not rectified the hot kiln gases may reach the nozzles and burn them. In more recent plants this is avoided by placing the nozzles in a separate chamber out of the gas stream. This necessitates lengthening of the jet from the nozzles, but this is unimportant and can be effected by a slight increase of pressure. The chief drawback, *viz.*, the formation of dust or the incomplete utilisation of the heat of the exit gases, is, however, not thereby remedied.

In order to improve the drying process in the zone containing the suspended material, experiments have been made to separate from the main kiln the portion of the kiln in which preliminary drying takes place, and to provide it with a separate drive. Further, a separate shaft behind the kiln has been tried for this purpose; Fig. 1 shows one of many arrangements which have been experi-

mented with. The shaft resembles a chimney stack, and the slurry is introduced at the top through a tube containing a number of openings. The slurry falls as rain straight down the shaft and meets the rising exit gases. Stoppage of the slurry nozzles cannot so easily occur in this plant since fairly low pressures can be used, and the apertures are correspondingly larger. The dried slurry collects at the base of the shaft and is carried by a screw conveyor to a bucket elevator which delivers it to a feed chute or to a second screw which feeds it to the kiln. The use of an inclined base to the shaft as a chute for directly feeding the kiln is prevented by the adherence of the thickened slurry. A thick, pasty, coherent mass is formed which constantly accumulates and finally blocks the passage for the gases, stopping the entire plant. Complete drying in the shaft is impracticable because of the great height that would be necessary. Apart from this it would give rise to serious dust formation. A partial drying in the shaft is thus the utmost that can be attained, and the resulting heat transfer will therefore approximately correspond to that in the slurry spray process. A further factor that must be considered is the tendency of the partially dried slurry to collect on the walls of the shaft. The possibility of removing it by scraping appliances will depend upon the length of the shaft.

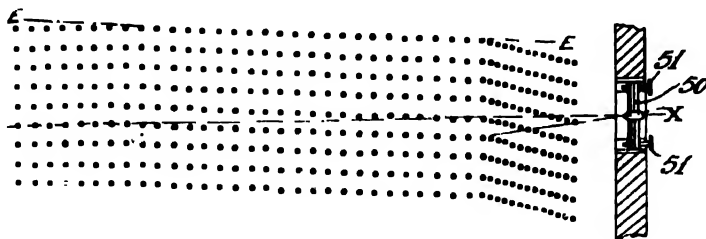


Fig. 2.

Such collecting of material is less to be feared in the slurry spray process. The kiln is in constant motion and the material adhering to the walls for the most part drops off, while if necessary this can be assisted by introducing a few chains or weights in the area where caking is likely.

The simultaneous use of chains and spraying nozzles has also been proposed (see Fig. 2). The chains are fixed at one end and are free at the other, and their length is not quite the kiln diameter. This means on the one hand that twice the length of chain is necessary for a given heat transfer surface, since at any moment half the chains lie on the kiln bottom and are only slightly exposed to the gases, while in the case of chains fixed at both ends only a short portion lies on the floor of the kiln; this must be regarded as a disadvantage of the process under discussion. On the other hand, it must be counted as an advantage that the chains hang perpendicularly and do not interfere with one another.

The slurry nozzle, which, as before, is fixed in the kiln head, is directed obliquely. The slurry is not sprayed, but injected in a fine compact stream, which impinges on one after another of the curtains of chains arranged along the kiln. The slurry is thus uniformly distributed over the whole of the chain system. The results are practically the same as in a kiln with the ordinary chain system and a simple slurry feed, in which the slurry is uniformly distributed over the chains by the rotation of the kiln.

In a number of methods of thickening slurry the material is indirectly heated by the exit gases through solid walls. By this means also a large heat exchange surface can be provided in a small space. One, or better several, rotary drums

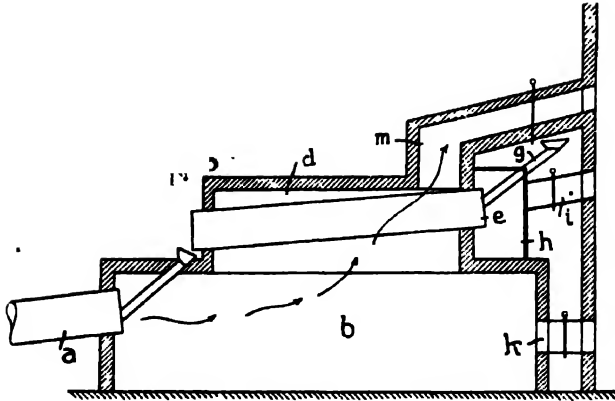


Fig. 3.

are located in the smoke chamber of a rotary kiln (see Fig. 3). The exit gases play around these while slurry passes through them. By means of several suitably placed gas exits the drums can be exposed to the gases to a varying degree, or if desired they can be entirely cut off from the gas stream. Further, by operating dampers, the gases can be made to pass over the drums several times. The steam evolved from the slurry is borne away separately and only meets the exit gases when it reaches the stack, so that it does not reduce the temperature of the hot gases. This last is the greatest advantage of indirectly heating the slurry. The exit gases are used solely for evaporating the water, and the resulting steam can be immediately removed without superheating, which is unavoidable in the case of direct contact of slurry and hot gases.

With a sufficient area of heat exchange surface slurry can be dried to a fairly high degree, since any accretions of material can be removed from the rotary drums without undue difficulty. Rotary drums do not provide a very great heat exchange surface, while the danger of caking prevents the adoption of a diameter below a certain value. It has therefore been suggested that the rotary drums should be replaced by tubular coils through which the slurry should flow. By this means the surface could be easily increased sufficiently to utilise all the available heat in the kiln gases. Such coils would, however, prohibit any extensive drying of the slurry in view of the danger of stopping the tubes.

In certain other processes a steam boiler is installed behind the rotary kiln, and the steam developed is used for drying the slurry as shown in Fig. 4. The kiln exit-gases are utilised for the sole purpose of heating the boiler, after which they pass directly to the stack. The steam is used first to drive a power

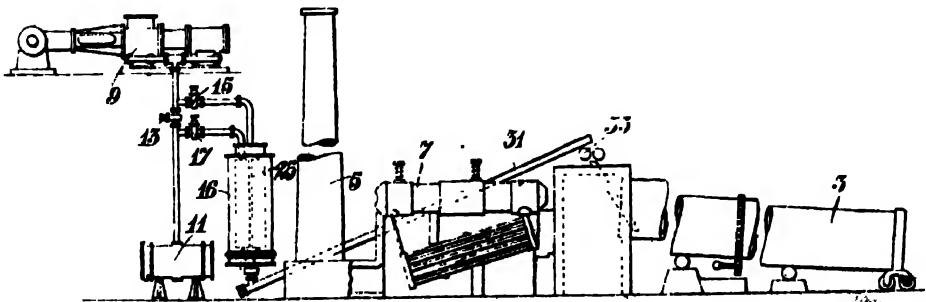


Fig. 4.

plant, which only requires a small proportion of the available heat. Before passing to the condenser the steam flows through a steam-heated surface drier. In the present instance the drier consists of a number of vertical revolving drums through which the steam passes while the slurry flows down the outside; the dried slurry is scraped off. The steam connections are so arranged that any desired fraction of steam can be passed directly to the condenser. In general, however, this is only done to compensate for the varying requirements of the power plant, since from the point of view of heat economy it is desirable to utilise all the steam in the drier.

The drier acts as a condenser, and in the most favourable case would condense the whole of the steam. The entire heat of the steam would then be transferred to the dried raw material. The most effective cooling of the steam by the material would, however, be essential for this. Since the water of the raw material is to be evaporated in the drier, it follows that during the greatest part of its passage through the drier the material is at 100 deg. C. Really effective cooling of the steam is thus impossible, and this is an important source of heat loss. A further source of loss is to be found in the fact that for steam production, even in the best cases, it does not pay to reduce the temperature of the exit gases below 250 deg. C. The remaining heat passes to the stack

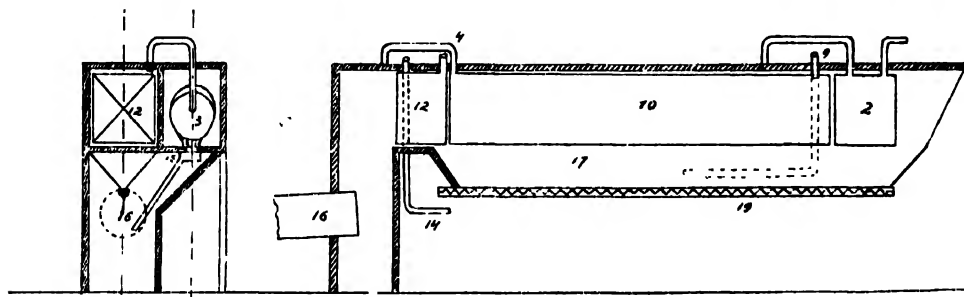


Fig. 5.

and is wasted. In considering the heat balance of the plant it must be remembered that by carrying the preliminary drying to a high degree, the temperature of the exit gases of the kiln approaches that attained in the dry process. Thus the temperature of the gases entering the boiler will be relatively high.

In the plant shown in Fig. 5 steam again serves as the medium for heat transfer. In this case, however, the steam is maintained in continuous circulation. The slurry first passes through a preheater where it is raised to 100 deg. C. It is then sprayed under pressure into a drying drum and meets steam superheated to 400 deg. passing in the opposite direction. The steam removes the water from the slurry and is itself enriched with water, so that its temperature falls almost to saturation point and it is increased in quantity by the amount of water evaporated. After removing the dust a portion of this steam is pumped through a superheater heated by the waste kiln-gases, and is then again passed to the drying drum. The remainder, which corresponds to the water of the slurry, is drawn through a special small superheater, whence it flows to a condensing steam engine. The kiln exit gases first pass through the small superheater used in connection with the steam engine, next through the main superheater for the circulating steam, and finally through the preheater. The gases, which only come into contact with superheaters and preheater, and never with the raw material, can thus be readily cooled to about 200 deg. C. The burning of the superheater tubes need not be feared for they are effectively

cooled by the steam within. This method renders possible an extensive utilisation of the waste heat.

Theoretically this process is ideal, but so far as the author's knowledge goes it has only once been worked, and that experimentally, in Poland. Naturally the separation of dust from the steam offers difficulty, but the main source of trouble must be sought in the excessive formation of dust in the drier. These are the same difficulties that are met in the slurry spray process. If the particles of material are thoroughly dried while still in suspension, they are carried away in great amount by the superheated steam, and the process therefore becomes impracticable. If conditions are adjusted so that moist particles reach the walls of the drier—as can easily be arranged by slightly decreasing the nozzle pressure or reducing the amount of steam circulated—the heat exchange surface between the point of impact and the end of the drum is very small. The drying is accordingly practically ended when the particles reach the walls, and the slurry is only moderately dry when it reaches the kiln.

Undoubtedly the method of indirect heating and drying not only gives rise to loss of heat but also requires an elaborate plant. There have been many attempts to dry the raw slurry by direct contact with the hot gases, of which only those employing fundamentally different methods will here be considered. The only point which they have in common is that they all endeavour to reduce the water content of the slurry in a special plant located in front of the kiln.

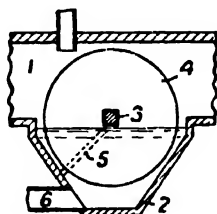


Fig. 6.

Fig. 6 shows a disc drier, in which a series of discs is carried on one or several horizontal shafts. When several shafts are employed the discs, which dip in wells, are placed alternately. The lower part of a disc is immersed in a slurry container and the slurry is raised by the rotating disc. The upper half of the disc lies in the path of the exit gases which flow parallel to the disc surface and dry the slurry adhering to it. The dried material is removed by scrapers and either returned to the slurry container or delivered directly to the kiln. The thick slurry is removed from the container by a screw conveyor. The discs are best arranged so that the gases move in the reverse direction to the slurry.

This plant has achieved no great success for various reasons. In the first place the discs must be of fairly large diameter to afford a sufficiently great surface for heat transfer. The path of the gases along the discs is sufficiently long to cause considerable frictional resistance between gases and raw material, while there is also the danger that the discs will be corroded if the drying is too complete. These facts, collectively, prevent this method from proving superior to others.

In the dry process of cement burning the Lellep system has recently proved extremely successful. In this, the raw material, containing about 10 per cent. of water, is formed into small spheres and placed on a moving grate through which the kiln exit-gases are drawn. This process is chiefly characterised by the low temperature of the gases behind the moving grate. This indicates the possibility of developing the system for the burning of raw slurry, and a number

of proposals in this direction have been advanced. In most of these the slurry is first subjected to a preliminary drying process, then formed into spheres, and further dealt with as in the Lellep system. It is obvious that this ignores the main difficulties, which lie in the design of a plant for partially drying the slurry with minimum heat consumption and which can be relied upon to work continuously without interruption.

The plant shown in Fig. 7 is stated to overcome these difficulties by first reducing the water content of the slurry to some 25 per cent. by mechanical means. The slurry is then in the form of a paste, *i.e.*, it will no longer flow, nor does it crumble, but is soft like butter. It may then be readily formed into short cylindrical pieces having only a slight tendency to cake together when spread out in thin layers. This material is then placed on a ring grate formed

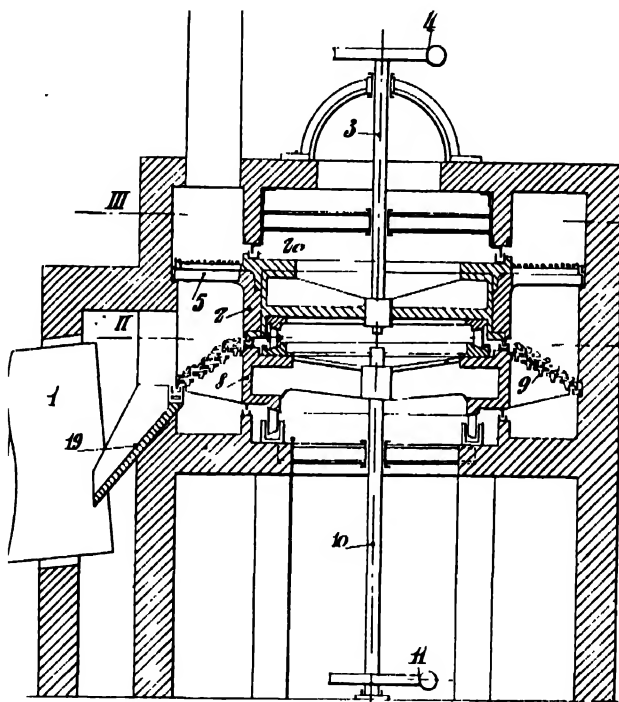


Fig. 7.

of thick radial bars, which slowly turns about its vertical axis. The kiln gases, already fairly well cooled, pass over the grate and further dry the thick paste. When the grate has completed a revolution the material is sufficiently dried to be crumbly, so that coagulation of the individual small pieces is no longer to be feared. By a suitable appliance the small cakes are thrust through the fissures in the grate, falling on to a second grate below, which preferably consists of rings lying one above the other in step formation. On this grate the material again remains for a complete revolution while it is heated by the fresh kiln gases, which are sucked through from below. This completes the drying and allows calcining to begin. The material is scraped from this lower grate in the usual manner and delivered to the kiln. The kiln gases pass first through the lower grate and are then led through a duct (not seen in the figure) over the upper grate, and they should leave the latter at a temperature not exceeding 100 deg. C.

It is questionable whether any notable amount of drying takes place on the upper grate, which merely serves to prepare slurry of the correct consistency for the lower grate. The thickening of the slurry principally takes place in the mechanical plant, which may be a filter. The possibilities in this direction will be explored later.

The Lellep process is only suitable for dry raw material, since the gases can be drawn through a crumbly mass but not through a liquid, while a slurry would fall through the grate fissures. The arrangement shown in Fig. 8 provides a

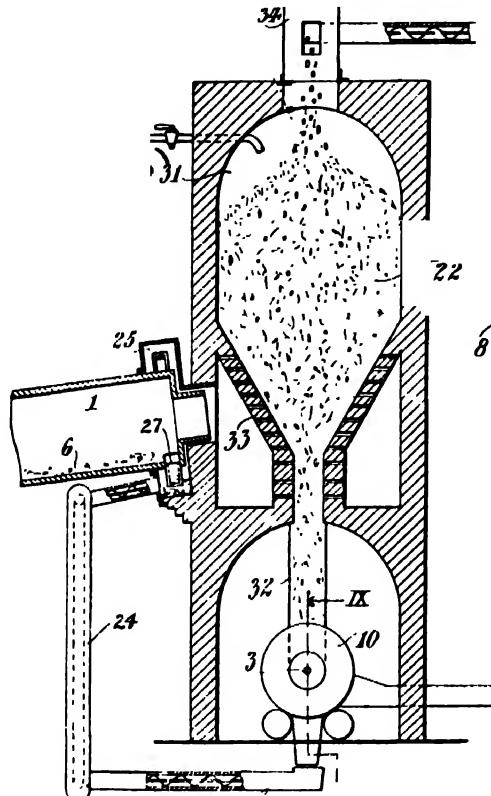


Fig. 8.

special way of making the slurry crumbly. It is mixed with solid material such as broken firebrick, and is thus in a manner broken up. The broken firebrick enables the gases to make a way through the material. The firebrick, pre-heated as explained later, together with the slurry, is fed to a shaft which acts as a preliminary drier. This shaft is closed below by perforated walls through which the kiln gases can enter the shaft. The slurry-firebrick mixture passes between these walls into a rotary sieve in which the two are separated. The slurry is conveyed to the rotary kiln and the firebrick returned to the shaft, thus passing through a continuous cycle. The firebrick nowhere exceeds a temperature of 100 deg. C. since the slurry always contains at least some traces of water on leaving the shaft. Thus the loss of heat from the firebrick cannot be very great, since it is limited to the radiation which occurs during its passage from the rotary sieve to the top of the shaft.

This plant must be regarded as rich in possibility. The separation of the broken firebrick and slurry should offer no great difficulty, particularly as a scrupulous separation is unnecessary. The chief question is to discover the amount of slurry that can be taken up by the firebrick without greatly impeding the stream of gas through the shaft or requiring too great a power consumption for the blast behind the shaft. It might also happen that the slurry was not held by the firebrick in sufficient quantity, or that the slurry passed through the mass of broken firebrick before it was adequately dried. Again, the perforations in the walls might soon become stopped by the dust in the kiln gases. However, none of these difficulties is insuperable. For instance, the size of the pieces of firebrick may be varied, which will affect their capacity for retaining slurry, while the firebrick might be replaced by metallic bodies of suitable shape or by cement clinker. And, finally, the shaft might be replaced by other types of structure.

The use of mechanical methods of removing the water from slurry has already been mentioned. The earliest attempts at this seem to be those of Ritter-

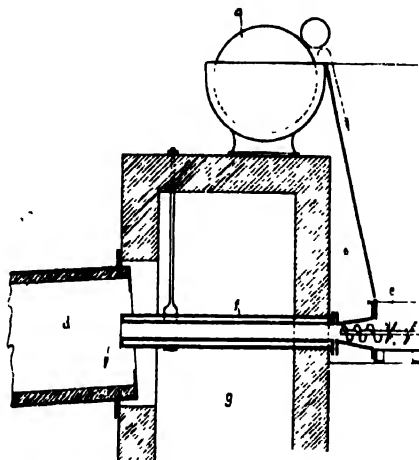


Fig. 9.

Zahony, of the Weissenegg Portland cement works, Obersteiermark, Austria, some time before the war. The water of the slurry was reduced to some 15 per cent. by a filter-press, and the material was then fed to a normal rotary kiln. The cakes of slurry were only coarsely broken, which appeared to reduce effectively the formation of dust in the kiln. The pieces of material for the most part retained their shape during passage through the kiln, or at least until the crumbling stage was reached. The exit gas temperature, 420 deg. C., attained in the 98 ft. kiln, is to-day of little interest.

Fig. 9 is a diagram of the plant with slight alterations. The filter is above the kiln head. The press cakes, containing 15 to 20 per cent. of water, pass to an extrusion press, the tube of which passes across the kiln head so as to deliver the extruded rope of material directly to the kiln. The material breaks off in short pieces at the end of the feed tube, so that the pieces falling into the kiln are about the size of a man's fist. The use of an extrusion press gives pieces of slurry of good strength and approximately equal size. This ensures uniformity in the product and the avoidance of dust formation even in the case of a slurry with great tendency to crumble.

Unfortunately it was later found that this process was only suitable for a few raw materials. In all cases in which water is present in colloidal combination—

and this is mostly so—the filter-press or other mechanical plant fails. The process has therefore not succeeded in gaining a footing in either Germany or most other countries. It must be admitted, however, that in certain cases it has been very successful, *e.g.*, in the latest plant of the Arkansas Portland Cement Co. The original slurry used in this plant contains 50 per cent. of water, which is reduced to 28 to 29 per cent. by a filter. Since the material even then possesses a definite plasticity, which might give rise to balling in the kiln, knife-like projections are built into the upper end of the kiln. These are short radial sheets about 12 in. high which cut up the masses of material and direct them away from the inlet, for which purpose they are arranged in a screw formation. This works at present consists of a single 300-ft. rotary kiln of 11 ft. 6 in. diameter, and it is proposed to add two further units at a later date.

The above plant consists of a rotary kiln of simple pattern, so that its heat efficiency is not especially good and does not correspond to modern technical attainments. It would be more appropriate to use this system of caking the slurry in one of the newer types of kiln used in the dry process, such as the

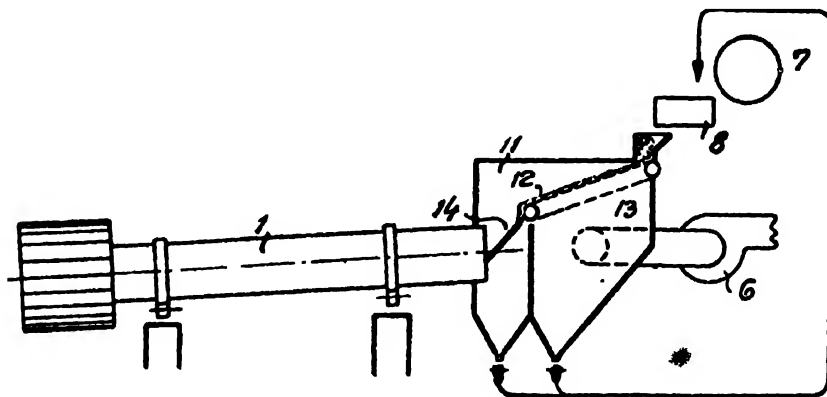


Fig. 10.

Lellep kiln, bringing the exit gas temperature down to 100 deg. C. There may, however, be economic reasons for the use of the simple kiln with its lower heat economy in the Arkansas plant, such as the possession of a supply of cheap fuel (natural gas). Nevertheless the installation of a 300 ft. kiln is in itself an expensive matter.

This suggests the use of a slurry filtering plant in conjunction with a travelling grate and rotary kiln, as shown in Fig. 10. The slurry first passes through a filter plant to a rotary drum, the motion of which converts the filter cake into small spheres. If the material leaving the filter is still somewhat too moist a small amount of dry meal can be admixed. This can be obtained from a dust chamber located behind the kiln, so that a special mill for producing dry meal is unnecessary. The material is then fed to a travelling grate and finally passes down a chute into the kiln. It is unfortunate, as already stated, that the filter is seldom suitable for cement slurry. Otherwise this plant would be the ideal solution of the problem of wet burning.

In conclusion, two further processes which attempt to obtain a thicker slurry by simple means will be mentioned. In the first of these hot clinker is mixed with slurry in a screw conveyer, without first passing through a cooler, so that the heat of the clinker evaporates the water of the slurry. When the heat exchange is complete the slurry and clinker are separated by a screening arrange-

ment. If a portion of the clinker remains with the thickened slurry no harm is done, since the double burning does not affect the quality of the product. The adherence of slurry to the clinker is, however, unsatisfactory, and after the sieving the clinker must be washed with water, which can then be used for mixing further slurry.

Calculation shows that at best the heat of the clinker is only sufficient to evaporate part of the water of the slurry. Apart from this the heat of the clinker is used in modern rotary kiln plants for preheating the air for combustion, so that the clinker heat cannot be applied to the slurry free of cost; we are not dealing with a source of heat, such as waste gases, which would otherwise be wasted in the stack. The preheating of the air offers other advantages. The fuel ignites more rapidly and the temperature in the clinkering zone is higher; this enables fuel of low quality to be used. All these advantages must be renounced if the clinker heat is used to evaporate the slurry, and the method has therefore not been adopted in practice.

The suggestion has been made that the slurry should be mixed with dry raw meal to give a crumbly mixture. The extent to which the process is to be applied must here be considered. If it is desired to reduce the water content of a slurry containing the usual 40 per cent. of water to some 20 per cent., approximately two-thirds of the raw material must be dry, with the result that all the advantages of the wet process are lost. This obviously excludes the method. The problem may also be considered from the point of view that in the normal dry process the exit gas temperature is about 800 deg. C., as against only about

"SIROCCOFIN"

GILLED TUBE
AIR
HEATER



A magnified view of the
"Siroccofin" Tube, shewing
the copper fin helically
wound round the tube



Write for Catalogue No 30

DAVIDSON & CO., LTD.

Sirocco Engineering Works, Belfast.

LONDON, MANCHESTER, BIRMINGHAM, NEWCASTLE, BRISTOL, CARDIFF, GLASGOW.



400 deg. in the wet process. In addition the fuel consumption is considerably higher in the wet process. It is suggested, therefore, that only a small quantity of dry raw meal should be added to the slurry, just sufficient for the drop in exit gas temperature from 800 to 400 deg. C. to evaporate the water of the slurry. It is here assumed that the slurry containing this added dry material will still give the exit gas temperature of 400 deg. This, however, by no means follows. Rather does the exit gas temperature, for a kiln of given length and output, depend on the amount of water in the raw material. There are the further disadvantages that two plants must be operated, one for the wet method and one for the dry method of preparation, while the quality of the product must suffer from the addition of even a small quantity of dry raw material owing to the impossibility of thoroughly mixing the wet and dry portions. The disadvantages of this process thus outweigh its advantages.

These considerations show that the object of the various processes is to provide a satisfactory wet process for burning cement whose heat economy shall approximate to that of the modern dry process. It has been proved that, except in certain special cases of only local importance, this goal has not been attained, although there is some promise of future success.

Cement Research During 1930.—III.

By O. F. HONUS.

ACCORDING to the work of H. Richarz⁸³ the tensile strength of trass Portland cement lies sometimes above and sometimes below that of ordinary Portland. The increased strength is mostly found when standard sand is used and is to be attributed to better filling of the pores by the finely ground trass. The crushing strength is generally below that of the corresponding Portland cement. Trass gives particularly good results when ground with clinker of very high lime content

A. A. Bado⁸⁴ studied the effect of additions of 30-50 per cent. puzzolana on Portland cement, and in no case did he observe any deleterious action.

Destructive Effects.—Th. Merriman⁸⁵ has imitated the attack of sulphate solutions on cement by dissolving out the lime with crude sugar solution. To reproduce the conditions of attack by sulphates, lime must initially be added to the sugar solution. Titration of the lime with methyl orange gives higher values than phenolphthalein, since with the former the lime combined with SiO_2 and R_2O_3 is also titrated. The difference corresponds to the difference in the resistance of the cements tested to chemical attack, and it is therefore recommended that it should be determined. Tests on thirty-two cements showed the resistance to attack to be dependent on the alumina content.

Improvements in Kiln Construction.

The Krupp-Grusonwerke, A.G.,⁸⁶ propose to produce fused cements in a kiln in which one or more shafts with inclined sides are united at the hearth of a burning chamber on which a high temperature flame plays. The flame gases are thus led out of the combustion chamber and through the feed shafts. The plant consists of a shaft kiln with two or more branches between which the burning chamber is situated. The columns are joined at the base to the burning chamber. This development avoids the sintering together of the raw material on the walls of the feed-columns.

⁸³ Zement, Vol. 19, p. 144, 1930.

⁸⁴ An. Asoc. Quim. Argentina, Vol. 17, p. 216.

⁸⁵ Eng. News-Record, Vol. 104, p. 62, 1930. ⁸⁶ German Pat. 490758.

According to St. Kohut⁸⁷ fused cements are burnt in two coupled kilns connected by a conveying and distributing appliance. In the first kiln the raw mix is preheated by the waste gases from the second kiln, in which fusion takes place. To prevent softening of the mass during the preheating, the hot gases from the second kiln are mixed with cooler gases, *e.g.*, waste gases from the preheating kiln, steam, etc.

The Soc. An. des Chaux et Ciments de Lafarge et du Teil propose to connect several reverberatory furnaces,⁸⁸ in which fusion will take place, to the feed plant heated by the waste gases which is the subject of their master patent.⁸⁹ The same company, in conjunction with the Soc. d'Electrochimie, d'Electrometallurgie, et d'Acieries Electriques d'Ungine⁹⁰ effects the burning of cement by introducing the raw mix from the top of a vertical furnace which is heated by the gases from a hearth placed to one side, thus preheating and driving the CO₂ from the materials. To the lower end of the vertical furnace is attached a horizontal electric furnace in which the CO₂-free mass is sintered and burnt.

To produce a uniformly high-strength product of uniform composition, E. Moyat⁹¹ proposes to blow the finely ground raw materials together with fuel into a reaction chamber, so that fusion takes place in the flame. The fused product flows on to a rotating cylinder, and the crusts formed on this are scraped off and ground in the usual way. In a Polysius process⁹² cement is fused in a collecting chamber constructed in the fore part of the rotary kiln by

⁸⁷ French Pat. 685027 and 576859.

⁸⁸ French Pat. 36403 (1930)

⁸⁹ French Pat. 571329 (1924).

⁹⁰ French Pat. 683037.

⁹¹ German Pat. 511521.

⁹² Austrian Pat. 118717.



"VISCO"

ENGINEERING CO. LTD.
162 GROSVENOR ROAD, LONDON, S.W.1

Telephone: Victoria 6531/2.
Telegrams: "Quintin, Churton, London."

VISCO - BETH

DUST COLLECTORS

are supplied for

FINE GRINDING MILL

and

PACKING PLANT

at

GREEN ISLAND CEMENT WORKS, HONG KONG.*

Illustration shows One Dust Collector partially
erected before shipment.

Specialists in:

**AIR FILTERS, INDUSTRIAL VACUUM CLEANERS,
HEATING & VENTILATING PLANT, COOLING
TOWERS, etc.**

increasing the diameter. The materials reach this chamber before they begin to soften, and in it they are fused and well mixed. Fluxes can be introduced into this chamber. A. Bues⁹³ obtains well-burnt and uniform cement in a shaft kiln by blowing in raw slurry from a nozzle directed downwards. The fuel and air are blown in from the lower end of the kiln by means of a nozzle directed upwards.

R. D. Pike⁹⁴ treats of the burning of Portland cement clinker in several stages and describes plant in which the expulsion of CO₂ and water (calcination) is carried out in a shaft kiln, while the clinker is burnt in an attached rotary kiln. Three plants are described: (1) shaft kiln combined with a rotary kiln; (2) two shaft kilns separately connected to a single rotary kiln, the waste gases from the rotary kiln passing through the shaft kilns; (3) the same plant arranged so that the excess heat is utilised in a boiler, while a potash extraction plant is attached. This last is the most economical in action. A rotary kiln in which more than half the cross-section is filled with material has been protected by A. Nilson⁹⁵ of Norway.

By burning phosphorite, bauxite and coal in a shaft, chamber or ring kiln, W. Schroeder,⁹⁶ Berlin, obtains phosphoric acid and cement. With the object of producing fused cement in the rotary kiln, A. Andreas⁹⁷ inserts a movable ring in the rotary kiln between the calcining and fusion zones. With a similar object the Vereinigte Ziegel und Cement Fabrik⁹⁸ of Budapest use a shaft kiln behind the fusion zone of which is connected a reverberatory furnace with independent firing, the two having the same exit for the waste gases.

The cooler end of the rotary kiln of J. S. Fasting,⁹⁹ Copenhagen, is surrounded by a number of cooling cylinders in the form of a cross projecting in front of the kiln. The kiln shell is fitted with grates for the exit of the clinker, and these are connected to the coolers by channels.

The shaft kiln patented by A. C. Davis¹⁰⁰ is of the type in which the raw materials are blown in from below and then fall back in the form of a cloud.

General.

A. Weissmann¹⁰¹ added flue dust to the raw mix as it entered the kiln, and found that it passed through without mixing to any great extent with the clinker. He therefore recommends that the flue dust should be added to the raw meal during the mixing. P. P. Budnikow, G. W. Kukolew and W. M. Leschojew¹⁰² investigated the effect of deflocculating agents on the fluidity of wet-ground cement raw materials. According to them the fluidity of the slurry is influenced to a large degree by such additions.

K. Biehl¹⁰³ tested the effect of various additions on the fluidity of Portland cement raw material slurry and found that waste sulphite liquor has a particularly great effect in increasing the fluidity. With the object of reducing the water content of lime or cement raw slurry H. Vierheller¹⁰⁴ adds to the mixing water small amounts of waste materials or waste water containing animal or vegetable decomposition or fermentation products. A cement raw slurry containing 36.5 per cent. water in the presence of cellulose liquor had the same viscosity as slurry of the same composition containing 41.5 per cent. water in the absence of the liquor.

⁹³ German Pat. 505285.

⁹⁴ German Pat. 490799.

⁹⁵ German Pat. 493841.

⁹⁶ German Pat. 498505.

⁹⁷ Tonind. Zeit., Vol. 54, p. 563, 1930.

⁹⁸ Tonind. Zeit., Vol. 54, p. 396, 1930.

⁹⁹ Ind. Eng. Chem., Vol. 22, p. 148, 1930.

¹⁰⁰ German Pat. 490803.

¹⁰¹ German Pat. 490759.

¹⁰² German Pat. 498406.

¹⁰³ Zement, Vol. 19, p. 96, 1930.

¹⁰⁴ German Pat. 577573.

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

LE JOURNAL INTERNATIONAL DU CIMENT EN QUATRE LANGUES.

PARTIE FRANÇAISE

Le collage contre l'enveloppe d'un four rotatif de 63 m. de longueur d'un cylindre annulaire de boue de 15 m. de longueur.

par O. FREY. *

IL n'est pas rare de constater des collages dans la zone de clinkérisation et la zone de désacidification d'un four rotatif; le cas que nous exposons ici présente un intérêt particulier, en raison d'une part de la rareté avec laquelle le fait se produit, et d'autre part des phénomènes accessoires qui l'accompagnent.

Pour faciliter la claire compréhension du mode de formation d'un cylindre de si grande dimension, j'exposerai pour commencer tous les facteurs ayant pu intervenir d'une manière ou d'une autre dans sa genèse

La composition moyenne dont découlent les deux modules, module hydraulique et module des silicates, était la suivante:

SiO ₂	14,18	
R ₂ O ₃	3,95	
CaO	43,69	
Module hydraulique		Module des silicates
2,41		3,50

Dans ces conditions, les propriétés de la poudre crue n'étaient plus comprises dans les limites normales, en particulier au point de vue du module des silicates, égal ici à 3,50. Comme conséquence directe de cette valeur élevée, la farine crue avait un point de scorification très élevé, et, à la suite de diverses observations, on avait fixé à 1529-1530° la température de clinkérisation.

La boue que fournissaient ces matières premières avait des caractéristiques tout à fait normales, et présentait un refus de 7-8% au tamis de 4900 mailles; sa teneur en eau était de 36%, et son poids au litre d'environ 1670 gr.

Cette température de clinkérisation élevée, combinée à la grande inertie chimique de la masse crue, peuvent avoir été les causes secondaires des phénomènes accessoires qui ont provoqué la formation du cylindre, et son collage.

Le ciment correspondant avait la composition centésimale suivante :

SiO ²	..	..	..	19,62
R ² O ³	..	..	..	7,60
CaO	..	..	..	64,50
MgO	..	..	..	1,80
SO ³	..	..	..	1,70
CO ² + H ² O	..	..	..	4,00
Alcalis R	..	..	..	0,88
Module des silicates..	..	..	..	2,58
Module hydraulique..	..	..	..	2,37

Le module hydraulique de 2,37 montre que ce ciment se trouve très près de la limite inférieure où il serait sujet à expansion. Nous voyons, par suite, qu'il s'agit d'un produit tout juste de qualité acceptable, pour autant, il va de soi, que l'on a en vue la fabrication d'un ciment ordinaire, de première qualité.

Comme autre point de repère, pour la claire compréhension des phénomènes chimiques qui ont occasionné la formation du cylindre, et son collage, nous avons les propriétés et la composition des cendres du charbon brûlé dans le four. Les cendres de ce charbon avaient la composition suivante :

		Houille grasse.	Houille demi- grasse.
SiO ²	..	42,80	45,55
R ² O ³	..	38,50	44,50
CaO	..	7,00	5,00
MgO	..	4,68	1,80
SO ³	..	4,25	2,55
CO + H ² O	..	—	—
Alcalis par diffé- rence	..	2,77	0,60
SO ⁴ Ca	..	7,22	4,33

Nous voyons, par suite, que nous avons affaire à des cendres relativement très riches en gypse, la teneur en gypse de la houille grasse étant en outre le double de celle de la houille demi-grasse.

Le charbon avec lequel on chauffait le four était constitué à la fois de houille grasse et de houille demi-grasse, et a donné les résultats suivants :

SiO ²	..	..	..	44,15
R ² O ³	..	..	..	40,00
CaO	..	..	..	5,61
MgO	..	..	..	3,00
SO ³	..	..	..	4,15
Alcalis par différence	..	..	..	3,09
Teneur en SO ⁴ Ca	..	..	..	7,05

Cette teneur en SO⁴Ca s'est trouvée être la cause directe de la formation de ce cylindre de dimensions anormales, soit 15 m. de longueur, et de son collage.

Pour faciliter la compréhension de ce phénomène, nous donnons dans un croquis la position du cylindre dans le four (fig. 1, page 1342; 1, direction de la flamme; 2, cylindre collé; 3, matières s'acheminant en roulant sur elles-mêmes; 4, chaînes) pour saisir l'action de la flamme dans le four, il est indispensable de tenir compte de la position qu'elle occupe par rapport aux matières qui vont à sa rencontre en roulant sur elles-mêmes.

Il est naturellement intéressant de connaître la composition du cylindre collé, si anormal par ses dimensions; à cet effet, on a fait sur le cylindre des prélèvements à quatre places différentes, au commencement, au milieu et à l'extrémité. Cet examen a donné le résultat suivant :

	Echantillon commencement	Echantillon milieu (1)	Echantillon milieu (2)	Echantillon extrémité
SiO ²	23,00	23,40	23,60	19,00
R ² O ³	7,50	5,50	7,30	7,00
CaO	60,00	44,25	44,60	40,00
MgO	1,70	1,80	1,70	2,10
SO ³	4,59	20,74	20,06	28,90
CO ² + H ² O .. .	0,40	0,70	0,20	0,20
Alcalis par différence	2,21	3,61	2,54	2,80
Gypse	7,62	35,26	34,00	49,13

En examinant les résultats ci-dessus, au point de vue de la teneur en gypse (SO³Ca) qu'ils font ressortir, on constate nettement l'augmentation rapide de la teneur en gypse, et cette teneur croît jusqu'à l'extrémité du cylindre collé. La double inflexion que présente la courbe à l'aplomb du troisième prélèvement semble ne pas correspondre exactement à la réalité, mais tenir plutôt à une erreur, et il n'a pas été possible de procéder à une nouvelle vérification, le cylindre ayant été détruit et enlevé pendant la durée de ces investigations. Les données ainsi recueillies concordent avec une constatation qui avait été faite, que la teneur des gaz brûlés en acide sulfurique et en gypse augmentait avec leur progression dans le four (du moins dans le présent cas).

Vu les températures très élevées qui règnent dans le four rotatif, le gypse contenu dans les cendres se trouvait nécessairement sous la forme d'un jet constitué par une fine pluie liquide, pluie qui s'est abattue sur les matières alors qu'elles progressaient en roulant sur elles-mêmes, et dont elle a provoqué le collage. Pour en arriver là, il faut naturellement un certain temps, et c'est à cette continuité qu'est due la formation d'un cylindre de cette dimension. On peut se demander si le gypse est l'objet d'une dissociation totale ou partielle lorsqu'il est exposé à une température aussi élevée, en traversant la zone de clinkérisation, ou s'il produit son effet avant d'être dissocié, en raison du temps très court que comporte son trajet, mais ces questions sont d'ordre secondaire, et la réponse n'apporterait aucune modification au fait accompli. On sait que la dissociation du gypse commence à 1400°, température qui est dépassée de beaucoup dans le four. Au point de vue température, il est certain que la dissociation pouvait avoir lieu, à condition que le temps soit assez long à partir du moment où le gypse sort de la flamme, jusqu'à l'instant où il entre en contact avec le cylindre, pour que ce phénomène chimique s'amorce.

Si nous considérons plus particulièrement la teneur en silice et en sesquioxydes du cylindre de gypse, nous nous rendons compte que les autres constituants des cendres ne s'y trouvent qu'en proportion assez restreinte.

Cylindre formé dans la zone de clinkérisation.**Composition chimique**

SiO ²	29,00
R ² O ³	19,00
CaO	48,00
MgO	1,40
SO ³	traces
CO ² + H ² O	0,60
Alcalis par différence	2,00

La totalité des cendres du charbon intervient ainsi dans la formation du cylindre dans la zone de clinkérisation, et, en raison de l'action violente de la flamme fournie par la soufflerie, la totalité du gypse s'y trouvait dissociée. En fait, les matières collées se trouvaient complètement dépourvues d'acide sulfurique. Pour donner une idée d'ensemble des divers phénomènes, il est intéressant de réunir dans un même tableau les diverses compositions :

	Gypse collé	Anneau de clinker collé	Ciment pur
SiO ²	19,00	29,00	19,76
R ² O ³	7,00	19,00	7,17
CaO	40,00	48,00	67,33
MgO	2,10	1,40	2,22
SO ³	28,90	traces	2,19
CO ² + H ² O	0,20	0,60	—
Alcalis par différence	2,80	2,00	1,33

En terminant cet article, je crois devoir attirer l'attention sur ce point, que le four fonctionnait sous le régime de la ventilation artificielle. L'allongement de la flamme par l'effet de la soufflerie lui donnait une pointe très longue, ce qui peut avoir contribué à favoriser dans une zone plus éloignée la formation d'une croûte de gypse, phénomène néanmoins assez rare. Il y a en outre lieu de remarquer, ce qui peut également servir à élucider le cas, que le four fonctionnait avec un grand excès d'air, qui est imposé par les conditions de l'exploitation.

Ce n'est que par la suppression de sa cause fondamentale que l'on peut supprimer le collage des matières, qui trouble naturellement la marche de l'exploitation ; dans le présent cas, on y est parvenu en ayant recours à une autre qualité de charbon, et on a employé par la suite un combustible, dont les cendres sont dépourvues de sulfates.

Au sujet des annonces.

Le texte de l'annonce doit parvenir à cet office au plus tard le 25 du mois précédent celui de la parution. Dans le cas où un nouveau texte ne serait pas parvenu à cette date, les éditeurs se réservent le droit de reproduire le texte précédent.

Dans le cas d'annonces devant être imprimées en plus d'une seule langue, on doit fournir soi-même les traductions. Si on le désire, les éditeurs se chargent de ce travail de traduction, mais il est entendu qu'ils ne pourraient assumer aucune responsabilité en ce qui concerne l'exactitude de la traduction.

L'influence du gypse sur la stabilité de volume des clinkers riches en chaux.⁽¹⁾

par O. GOFFIN et G. MUSSGUG.

On sait que la stabilité de volume du clinker de ciment Portland peut être améliorée par divers moyens dont l'efficacité est connue, par exemple par des projections d'eau pulvérisée, par une mouture plus fine, ou par l'addition de substances n'ayant aucune tendance à faire expansion, telles que le laitier de haut-fourneau, le trass, les matières siliceuses, etc., et par l'addition de divers produits chimiques; rares sont cependant dans la littérature technique les données numériques, ayant trait à l'influence du gypse sur la stabilité de volume du clinker.

Il y a quelques dizaines d'années, Erdmeyer² a prouvé que le gypse annihilait l'expansion des ciments à forte teneur en argile, autrement dit pauvres en chaux, et expansifs, mais qu'il n'en était pas de même pour les ciments normaux (riches en chaux). Sans entrer dans les détails, Tippmann³ et Kuhl⁴ ont contesté cette assertion dans les diverses communications qu'ils ont faites sur le problème du durcissement du ciment Portland. Ajoutons que, jusqu'à ce jour, aucune recherche systématique et approfondie n'a été faite sur ce sujet, et l'on pourrait du reste prétendre que les investigations de cet ordre ne répondent à aucun besoin pratique, vu que les spécifications normales limitent l'addition de gypse à 3%. Parmi d'autres raisons, les propriétés remarquables des clinkers riches en chaux, obtenus industriellement ou au laboratoire, nous incitent néanmoins à étudier de plus près l'influence du gypse sur la stabilité de volume du clinker de ciment Portland.

Pour le calcul de la teneur maximum du clinker en chaux, Guttman et Gille⁵ ont donné les formules suivantes :

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 0,64 (\text{Fe}^2\text{O}_3 + \text{Mn}^2\text{O}_3) \text{ (pour cent)}$$

$$1,07 \text{ CaO} - \left[0,38 (\text{Fe}^2\text{O}_3 + \text{Mn}^2\text{O}_3) + 1,76 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,75 \text{ SO}_3 \right] / 3$$

$$\text{SiO}_2$$

Cette fraction a été appelée par eux " module de la chaux." Selon Kuhl⁶, la teneur admissible du clinker en chaux est donnée par la formule ci-dessous, dite " coefficient de saturation en chaux " :

$$\frac{\text{CaO}}{2,8 \text{ SiO}_2 + 1,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,70 \text{ Fe}^2\text{O}_3 (+ 0,71 \text{ Mn}^2\text{O}_3)} \leq 1$$

Nous avons complété la formule de Kuhl par le terme entre parenthèses, pour qu'elle puisse s'appliquer aux clinkers contenant du manganèse, vu que cet élément ne figure pas dans le clinker de ciment Portland comme corps étranger, comme on le supposait fréquemment autrefois. Le manganèse est au moins équivalent au fer au point de vue affinité pour la chaux, comme nous avons pu le montrer expérimentalement avec des mélanges crus manganésifères, et par des essais à grande échelle au four rotatif, avec des teneurs en Mn^2O_3 allant

¹ Communication présentée le 17 Avril 1931 à Dusseldorf à la douzième réunion technique de l'Association des fabricants allemands de ciment Portland de fer.

Wecke, " Handbuch der Zementliteratur," p. 380.

² " Zement," 1930, p. 1234.

³ " Zement," 1931, p. 239.

⁴ " Zement," 1929, No. 16-18.

⁵ " Tonindustrie-Zeitung," 1930, p. 389.

jusqu'à 8% ; cette assertion est d'ailleurs confirmée par Guttman et Gille, dans leur communication "Le manganèse dans le clinker à ciment". Pour l'industrie du ciment de laitier de haut-fourneau, où les matières premières que l'on emploie sont presque toujours composées en partie de laitier de haut-fourneau contenant du sulfate, la meilleure formule, et qui donne les résultats les plus exacts, est celle de Guttman et Gille, car elle tient compte de la teneur en SO_3 , élément qui, dans certaines circonstances, peut atteindre 1,50% du clinker.

Au laboratoire de notre usine, nous avons montré, il y a longtemps déjà, que les clinkers manganésifères pouvaient atteindre ou même dépasser la teneur limite en chaux, donnée par le module de la chaux, soit 3, ou le coefficient de saturation en chaux, soit 1, sans que ces clinkers donnent lieu à expansion, telle que l'indiquent les épreuves courantes d'invariabilité de volume ; ce phénomène est d'autant plus remarquable que les valeurs de Guttman et de Kuhl sont des valeurs limites théoriques, qu'on ne peut atteindre en pratique sans s'exposer au danger d'expansion.

C'est un fait d'expérience que les mélanges riches en constituants fusibles, conditions auxquelles répondent naturellement les mélanges fortement manganésifères, sont plus facilement et plus complètement attaqués que les mélanges pauvres en constituants fusibles, ou que ceux dans lesquels la totalité de la chaux se présente à l'état de carbonate, autrement dit ceux préparés au moyen de matières premières naturelles. Il s'ensuit que, dans le premier cas, la teneur en chaux peut se trouver plus près de la limite théorique d'expansion que dans le cas de matières premières pauvres en constituants fusibles et riches en carbonate. Mais ce seul fait peut difficilement expliquer pourquoi, dans certains clinkers expérimentaux ou industriels, la limite pratique d'expansion peut être poussée au delà de la limite théorique, sans que les épreuves par étuvage et par ébullition ne révèlent aucun signe d'expansion. Nous nous sommes efforcés de trouver une explication à ce fait remarquable, qu'un clinker manganésifère peut dépasser légèrement sans danger les valeurs maxima établies par Guttman et par Kuhl.

Les expériences entreprises pour élucider cette question ont fait ressortir que les résultats des épreuves d'invariabilité de volume dépendent de la quantité de gypse moulu avec le clinker. Pour pouvoir déterminer avec plus de précision l'influence du gypse, on a procédé au broyeur de laboratoire, dans des conditions identiques, à la mouture de divers clinkers industriels et expérimentaux, de différentes teneurs en chaux, en faisant varier la quantité de gypse incorporée ; les expériences ont montré que si le module de la chaux dépasse 3, et que le coefficient de saturation en chaux est égal ou supérieur à 1, tous les clinkers présentent une sérieuse expansion lorsque la mouture s'opère sans addition de gypse, ou que cette substance est ajoutée en faible quantité (généralement 2% ou moins). Si l'on procède par contre à la mouture avec 3% de gypse, ou plus, les épreuves d'invariabilité de volume courantes (épreuves par ébullition et par étuvage) ne fournissent aucun indice d'expansion. Nous avons alors soumis ces clinkers riches en chaux à d'autres épreuves d'invariabilité de volume pratiquées en Allemagne, en vue de déterminer si ces épreuves feraient également ressortir l'influence du gypse.

Ces épreuves d'invariabilité de volume ont été exécutées comme suit : pour l'épreuve de la boule de Heintzel traitée à la flamme, et pour l'épreuve de la pression de Prussing, avec étuvage, les échantillons ont été préparés de la manière habituelle ; la même plaque, chauffée à 300 ou 160°, servait à la fois

¹ "Zement," 1929, No. 16/18.

dans les deux cas. Pour l'épreuve à l'étuve sur plaque de gypse, dite également épreuve accélérée à l'étuve, on place la galette de ciment sur une surface absorbant l'humidité (plaque de gypse recouverte de papier buvard); une demi-heure après, on transporte la galette sur une plaque de tôle chauffée à 100-120°. L'épreuve à l'étuve, où l'on se sert de galettes préparées sur des plaques de verre, et l'épreuve normale d'ébullition, ont été exécutées au bout de 24 heures, selon le mode habituel. On n'a pas fait l'épreuve de Le Chatelier, qui n'est pas pratiquée en Allemagne; les résultats qu'elle fournit sont, du reste, très près de ceux de l'épreuve d'ébullition. *

Les résultats des diverses épreuves d'invariabilité de volume peuvent être résumés comme suit : dans le cas de clinkers très riches en chaux et d'une forte teneur en gypse, les épreuves de Heintzel et de Prussing sont d'accord pour indiquer une légère expansion par la chaux, expansion sans conséquences pratiques, mais intéressante au point de vue scientifique. La grande sensibilité de ces deux épreuves est probablement due à ce que le ciment les subit avant sa prise, c'est-à-dire dans des conditions tout à fait anormales en ce qui concerne l'invariabilité de volume, tandis que les épreuves par ébullition et par étuvage n'ont lieu que quand la prise est complète—et en tout cas pas avant que 24 heures ne se soient écoulées—et que la galette ait pris sa résistance définitive. Cette remarque a déjà été faite par Kuhl⁸; c'est pour cette raison que les épreuves de Prussing et de Heintzel sont trop brutales, comme il a été dit fréquemment.⁹

Parmi les nombreuses expériences faites pour élucider l'influence du gypse sur l'invariabilité de volume des clinkers riches en chaux, on a retenu celles donnant des résultats concordants, qui, pour deux clinkers types, ont été consignés dans les tableaux 1 et 2.

Les clinkers avaient les modules suivants :

						Clinker 1.	Clinker 2.
Mod. des silicates	..	* ..	..	..	..	1,68	1,73
Mod. Fe + Mn	..	..	....	..	..	1,83	1,60
Mod. hydraulique	..	..	..	..	..	2,22	2,37
Mod. de la chaux	..	..	..	..	..	2,96	3,19
Coefficient de saturation en chaux	..	..	..	..	..	0,99	1,05

Les données que fournissent les deux tableaux sont complètes, et comprennent pour les différentes additions de gypse les résultats des épreuves d'invariabilité de volume, les refus de tamisage, les temps de prise et les résistances; pour les compléter, on a représenté figures 1 et 2 (pages 1345 et 1346) les résultats des diverses épreuves accélérées d'invariabilité de volume concernant les deux clinkers, et la figure 3 (page 1348) représente graphiquement la relation qui existe entre la résistance et la quantité de gypse.

La figure 1, a trait aux épreuves d'invariabilité de volume du clinker N° 1; module de la chaux=2,96. Tous les échantillons étaient absolument stables de volume; ceux de la rangée du haut ont subi l'épreuve de Heintzel, ceux de la seconde l'épreuve de Prussing, ceux de la troisième l'épreuve sur la plaque de gypse suivie d'étuvage, ceux de la quatrième l'épreuve sur la plaque de verre suivie d'étuvage, et la dernière rangée l'épreuve d'ébullition.

La figure 2 concerne les épreuves d'invariabilité de volume du clinker N° 2; module de la chaux=3,19. Les épreuves successives sont représentées dans le même ordre que figure 1, et, sur toutes deux, les chiffres du bas indiquent la proportion centésimale de gypse.

⁸ "Zement," 1931, p. 239.

⁹ Kuhl "Zement u. Mörteltechnische Studien," p. 75; Schoch "Mörtelbindestoffe," 4e éd., p. 730 "Tonindustrie-Zeitung," 1925, p. 939, 1066, 1067.

TABLEAU I.

Proportion % de gypse.		Refus sur tamis de mailles au cm².	Temps de prise.		Invariabilité de Volume.							Resistance à la traction kg./cm².					Resistance à l'écrasement kg./cm².				
900	4,900		Initiale.	Finale.	Epreuve Heintzel.	Epreuve Brüssing.	Epreuve avec plaque de gypse et clivage.	Epreuve avec plaque de verre et clivage.	Epreuve d'ébullition	Epreuve normale à l'eau.	Epreuve à l'air.	Jours.					Jours.				
					Proportion d'eau %.							28 jours conservation. dans l'eau.					28 jours conservation. altérée.				
0	0,1	1,0	0,04	0,08	21	16	25	25	25	25	25	1	3	7	28 jours conservation. dans l'eau.	28 jours conservation. altérée.	1	3	7	28 jours conservation. dans l'eau.	28 jours conservation. altérée.
1	0,1	0,4	2,20	5,00	stable	stable	stable	stable	stable	stable	stable	—	—	—	33,5	48,5	143	293	369	493	579
2	0,1	1,5	2,00	4,50	stable	stable	stable	stable	stable	stable	stable	25,9	33,7	30,5	31,5	47,3	219	390	449	491	612
3	0,1	1,2	2,20	4,40	stable	stable	stable	stable	stable	stable	stable	31,7	37,4	35,2	35,2	40,8	196	427	478	582	703
4	0,1	0,6	2,30	4,50	stable	stable	stable	stable	stable	stable	stable	31,2	33,6	38,0	38,0	51,6	274	435	525	631	740
5	0,1	0,4	2,30	5,00	stable	stable	stable	stable	stable	stable	stable	25,6	35,2	33,7	36,1	49,5	250	424	500	626	681
6	0,1	0,4	2,30	5,10	stable	stable	stable	stable	stable	stable	stable	24,2	32,1	36,2	37,9	52,9	215	430	451	553	711

Proportion d'eau aux essais de temps de prise = 25%.

Pon les essais de traction et d'écrasement on s'est servi d'un mortier à 1 de ciment pour 3 de sable normal, avec 8% d'eau.

TABLEAU 2

Proportion % de rypae		Refus sur tamis de mailles au cm ²	Temps de prise		Invariabilité de volume							Resistance à la traction kg/cm ²				Resistance à la compression kg/cm ²			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	3	7	28 jours	1	3	7	28 jours
900		4,900	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Proportion d'eau aux essais de temps de prise = 23,0.

Pour les essais de traction et d'écrasement, on s'est servi d'un mortier à 1 de ciment pour 3 de sable normal, avec 8% d'eau

Par suite de la teneur plus élevée en chaux, toutes les épreuves accélérées d'invariabilité de volume, faites avec une proportion de gypse variant de 0 à 1%, ont fait ressortir une expansion considérable. Une proportion de 3 à 4% de gypse suffit pour donner aux galettes soumises aux épreuves d'ébullition une certaine stabilité de volume, qui n'est cependant pas absolue; aux essais à l'étuve, on obtenait par contre une légère expansion, dont les photographies ne permettent pas de se rendre compte. On voit ainsi qu'en augmentant la proportion de gypse, on obtient une diminution ou même la suppression complète de l'expansion que produisent les épreuves par ébullition et par étuvage; si l'on applique les épreuves de Prussing et de Heintzel, on constate, par contre, une expansion bien nette, même si l'on augmente encore la proportion de gypse.

Le tableau 1 fait ressortir l'influence de la proportion de gypse ajouté sur le clinker N° 1, le module de la chaux étant de 2,96. Il est remarquable que le temps de prise reste pratiquement constant quand la proportion de gypse augmente, et qu'après conservation dans l'eau, la résistance à la traction, qui reste élevée, corresponde à une grande stabilité de volume.

Le tableau 2 fait ressortir l'influence de la proportion de gypse sur le clinker N° 2, le module de la chaux étant de 3,19. Pour ce clinker, le temps de prise reste aussi pratiquement insensible à l'augmentation de la proportion de gypse. Pour toutes les galettes soumises aux épreuves d'invariabilité de volume, le phénomène de l'expansion décroît dans une certaine mesure quand la proportion de gypse augmente; comme le montre la figure 2, cette décroissance est plus prononcée avec les épreuves par ébullition et par étuvage, qu'avec les épreuves de Heintzel et de Prussing.

L'ensemble des épreuves montre qu'il est possible d'améliorer d'une manière bien nette la stabilité de volume des clinkers en augmentant la proportion de gypse; comme d'autre part les spécifications normales limitant à 3% la proportion des produits d'addition, ces recherches ont une valeur plus théorique que pratique. Il reste à entreprendre des recherches pour savoir si l'influence du gypse est aussi nette dans le cas de clinkers d'une composition différente, ayant par exemple une teneur en Al_2O_3 inférieure à la normale, et en faisant varier le degré de finesse à la mouture.

Nous avons cherché, en outre, à établir si l'incorporation au clinker d'une matière neutre suffirait pour améliorer la stabilité de volume. Dans un essai, on a incorporé au clinker de la pierre calcaire moulue très finement, et dans un autre du sable, dans la proportion de 6% au maximum, sans répercussion appréciable sur la stabilité de volume. L'anhydrite, par contre, se comporte comme le gypse.

Résumé.

L'épreuve de Heintzel de la boule chauffée, et l'épreuve de Prussing à galette comprimée et étuvée, sont les épreuves d'invariabilité de volume les plus sensibles pour déceler l'expansion par la chaux des clinkers purs.

Si la tendance à faire expansion est faible, on peut l'annihiler par l'addition de gypse tolérée par les spécifications normales, et l'on obtient ainsi un ciment non expansif.

On ne peut dépasser sans danger d'expansion les valeurs limites pour la teneur en chaux qui découlent des formules de Guttman et de Kuhl (soit 3 et 1 respectivement), même si l'on se trouve dans les conditions les plus favorables au point de vue matières premières et fabrication. Il y a par suite lieu de considérer ces chiffres comme justifiés en tant que valeurs limites.

L'altération des propriétés physiques du ciment par l'action de l'acide carbonique atmosphérique.

par F. L. BRADY

(de la Building Research Station).

LA Building Research Station exécute actuellement pour la Cast Concrete Products Association de Grande-Bretagne un programme de recherches sur les propriétés des produits en béton, qui comporte entre autres l'étude de la carbonatation par l'acide carbonique atmosphérique. La littérature technique traitant du ciment fournit de nombreux renseignements sur l'action qu'exerce l'acide carbonique de l'air sur les propriétés chimiques du ciment, mais on n'a prêté que peu d'attention à ce jour aux altérations physiques dues à l'acide carbonique.

A première vue, on pourrait croire que l'acide carbonique n'altère que d'une façon insignifiante les propriétés physiques du ciment, car apparemment la transformation de l'oxyde de calcium hydraté en carbonate de calcium ne s'accompagne que d'une légère variation de volume. Pour la densité de l'oxyde de calcium hydraté en poudre, la meilleure valeur et la plus sûre, est celle donnée par P. Joyce et P. Demont¹, soit 2,239 gr/cm³; elle est d'accord avec la valeur énoncée par Lamy², soit 2,236-2,239 gr/cm³, mais présente une différence marquée avec celle de Filhol³, 2,078 gr/cm³. Les travaux de F. W. Aston et R. Wilson⁴, qui suggèrent comme valeur un chiffre très près de 2,20 gr/cm³, sont une autre confirmation de la valeur indiquée par Joyce et Demont.

Dans son traité "Inorganic and Theoretical Chemistry" (Chimie minérale et théorique), J. W. Mellor donne les densités de la calcite, obtenues par un certain nombre d'expérimentateurs, et qui sont :

	gr/cm ³
C. J. B. Karsten	2,6946
V. Goldschmidt	2,713—2,735
E. Madelung et R. Fuchs	2,7067—2,7121
J. Johnstone	2,71
L. Bourgeois (calcite artificielle)	2,71

Nous ne serons pas loin des valeurs vraies en prenant 2,24 gr/cm³ pour la densité de l'oxyde de calcium hydraté cristallin, et 2,71 gr/cm³ pour la densité de la calcite.

Ceci posé, par unité de volume de mortier de ciment Portland et sable d'une densité de 2,2 gr/cm³ (pour prendre une valeur moyenne), il y a en chiffres ronds, en poids, 11% d'eau, 22% de ciment, et 67% de sable. En admettant qu'après hydratation le ciment contienne 10% de chaux libre (valeur moyenne), soit 13,2% de Ca(OH)², pour 1 cm³ de mortier, nous aurons :

$$\frac{0,22 \times 13,2 \text{ gr}}{100} \text{ Ca(OH)}^2 = 0,029 \text{ gr. Ca(OH)}^2.$$

Le volume de la chaux libre correspondant à ce poids (si elle se trouve à l'état cristallin), sera :

¹ Joyce, P., et Demont, P.—Le poids spécifique de l'oxyde de calcium hydraté et la part jouée par cette substance dans le retrait du Ciment Portland—*Journal Chim. Physique*, 1929, 26, 317.

² Lamy, A.—*Ann. Chim. Phys.*, 1878, 14, 145.

³ Filhol, E.—*Ann. Chim. Phys.*, 1845, 7, 271.

⁴ Asthom, F. W., et Wilson, R.—La préparation et les propriétés optiques des cristaux d'oxyde de calcium hydraté.—*Am. Journ. Science*, 1927, 13, 209.

$$\frac{0,029 \text{ cm}^3}{2,24} = 0,0129 \text{ cm}^3,$$

volume qui, après action de l'acide carbonique atmosphérique, deviendra :

$$0,029 \times \frac{100}{74} \times \frac{1}{2,71} \text{ cm}^3 \text{ de calcite} = 0,0145 \text{ cm}^3 \text{ de calcite.}$$

L'échantillon subit par suite une augmentation de volume de

$$0,0145 - 0,0129 \text{ cm}^3 = 0,0016 \text{ cm}^3$$

correspondant à une expansion linéaire de

$$\frac{0,0016}{3} \text{ cm} = 0,00053 \text{ cm, ou } 0,053\%.$$

Dans l'hypothèse que l'action de l'acide carbonique atmosphérique se traduise par la transformation en calcite de l'oxyde de calcium hydraté libre, nous devons nous attendre à une expansion linéaire de l'ordre de 0,05%. En fait, aux essais faits à la Building Research Station, le phénomène observé est celui de la contraction, et nous en concluons que le mécanisme de l'action de l'acide carbonique atmosphérique, tel qu'il est décrit, est, soit incorrect, soit incomplet.

En premier lieu, il est quelque peu douteux que la chaux libre se présente dans le ciment Portland à l'état cristallin (les observations⁵ de F. F. Tippmann sur ce point ne sont pas absolument concluantes). Si une fraction de la chaux libre se présente sous forme de gel, le raisonnement ci-dessus est erroné.

Il y a lieu, en outre, de prendre en considération un autre phénomène important. En analysant, après exposition à l'air, des échantillons de ciment, on constate que l'activité de l'acide carbonique ne s'arrête pas quand la chaux libre est transformée en carbonate de calcium, car le gel de ciment est partiellement décomposé. Nous nous trouvons, par suite, en présence de ce phénomène, que l'activité chimique de l'acide carbonique se traduit par la formation de carbonate de calcium au sein du gel de ciment. L'examen microscopique montre que ce carbonate de calcium se présente sous forme de cristaux d'une longueur de l'ordre de 5-10 μ , c'est-à-dire qu'ils rentrent dans une catégorie de cristaux, non caractérisée par ses propriétés colloïdales. Il s'ensuit que dans un échantillon de ciment, et en qualifiant de "gel de ciment" l'ensemble de la masse moulue apparemment dépourvue de texture, la fraction du volume global occupée par ce gel de ciment subit une diminution du fait de l'activité de l'acide carbonique. Comme résultat de cette modification (modification des dimensions linéaires par suite de la modification de la teneur en eau), les propriétés physiques du ciment, perméabilité, porosité, résistance, module d'élasticité, devraient également se trouver modifiées.

On ne relève, dans la littérature technique, que très peu d'observations sur les phénomènes physiques qui accompagnent l'activité chimique de l'acide carbonique. H. Passow⁶ a expérimenté l'action de l'acide carbonique sur un certain nombre de mortiers; il a constaté que l'action de l'acide carbonique sur le mortier de ciment se manifeste par une élévation plus ou moins forte de la température, toujours accompagnée de la séparation d'une partie de l'eau. Dans les expériences où il étudiait l'action de l'acide carbonique sur la prise du ciment, il trouvait que cette action était le plus marquée quand les éprouvettes avaient perdu leur eau dans une certaine proportion, et qu'elles avaient atteint un degré

⁵ Tippmann, F. F.—Quelques observations sur l'oxyde de calcium hydraté et sa fonction dans le durcissement du Ciment Portland.—*Kolloid Zeitschrift*, 1931, 55, 85. Voir aussi: Durcissement du Ciment Portland, p. 1115, présent no de *Cement and Cement Manufacture*.

⁶ Passow, H.—L'action de l'anhydride carbonique sur le mortier de ciment.—*Protokoll*, 1896, 19, 128.

de siccité donné. L'action sur le ciment déjà en état de prise dépendait de l'âge de l'échantillon, et était d'autant plus prononcée que le ciment avait une teneur élevée en chaux. Passow spécifie, en outre, qu'un mortier poreux était ramolli par l'action de l'acide carbonique, tandis qu'un mortier compact voyait sa résistance augmentée. Il exprimait cette opinion, que l'acide carbonique, pendant la durée de son action, avait pour effet de favoriser le processus de l'hydratation. G. Natta et C. G. Fontana⁷ ont récemment exprimé la même opinion, au sujet de la relation qui existe entre l'activité chimique de l'acide carbonique, et la résistance.

J. Bied⁸ a fait des expériences, pour déterminer quelle action exerce l'acide carbonique sur le retrait des galettes de ciment reposant sur des plaques de zinc. Les galettes conservées dans l'acide carbonique saturé de vapeur d'eau ne présentaient aucun retrait jusqu'au moment où on les exposait à l'air pour les sécher. Une fois à l'air, elles se contractaient, mais dans une mesure moindre que les mortiers n'ayant pas subi l'action de l'acide carbonique. Deux échantillons de ciments à prise rapide, conservés dans l'acide carbonique, présentaient une certaine contraction, suivie d'expansion lorsqu'ils étaient exposés à l'air. Bied suggérât que ce phénomène d'expansion pouvait être dû à la présence de chaux libre, et tirait de ses expériences cette conclusion générale, que l'exposition à une atmosphère d'acide carbonique donnait lieu à une diminution marquée de la contraction, sans fournir aucune explication à ce sujet. La présente étude ne confirme pas l'action de l'acide carbonique sur la contraction du ciment, ainsi formulée.

H. W. Gonell⁹ a fait des expériences sur la stabilité de volume des galettes dans l'acide carbonique, le ciment ayant été gâché avec une liqueur sucrée; de même que Passow, il constatait que les galettes conservées pendant leur durcissement dans une atmosphère d'acide carbonique présentaient une "exsudation" bien marquée (expulsion de gouttelettes d'eau restant à la surface), "ce qui, dit-il, est dû à la décomposition par l'acide carbonique du gel qui s'est formé pendant la phase initiale à la surface, d'où libération de l'eau que contenait le gel." En soumettant à un essai de compression un échantillon datant de dix ans, Goslich et Hart¹⁰ ont constaté qu'il s'en détachait tout autour une couche d'environ 8 mm. d'épaisseur; ils ont trouvé que cette couche correspondait aux matières qui avaient été altérées par l'acide carbonique.

Les observations faites à ce jour sur la répercussion physique de l'activité de l'acide carbonique sont par suite incomplètes et non concluantes, même en tenant compte des communications faites de temps à autre à ce sujet, qui contiennent des indications précieuses sur la nature de ces phénomènes, mais où la question n'est pas étudiée à fond. Toute conjecture que l'on pourrait faire en partant des données théoriques sur les répercussions de l'activité de l'acide carbonique ne peuvent donner aucune certitude, par suite du grand nombre de lacunes que ces données comportent; on n'a par suite d'autre ressource que de procéder à des recherches expérimentales.

On doit s'attendre à voir l'activité chimique de l'acide carbonique se traduire par une modification de la structure de la fraction du ciment, transformée en gel. Pour connaître dans quelles limites cette modification a lieu, et sa nature,

⁷ Natta, G., et Fontana, C. G.—Régression des bétons poreux.—*Giorn. Chim. Ind. Appl.*, 1931, 13, 173.

⁸ Bied, J.—Recherches industrielles sur la chaux, les ciments et mortiers, p. 227, Pub. Dunod, Paris.

⁹ Gonell, H. W.—L'influence du sucre sur la prise et le durcissement du Ciment Portland.—*Zement*, 1929, 18, 372, 437, 472.

¹⁰ Goslich et Hart.—L'effet de l'anhydride carbonique sur la prise du Ciment Portland.—*Zement*, 1923, 12, 262-4.

la meilleure méthode d'investigation consiste par suite à étudier quelle répercussion a l'activité chimique de l'acide carbonique sur la propriété du ciment qui découle le plus nettement de la nature colloïdale de ce matériau, autrement dit, sur ses "mouvements hygroscopiques," ou modifications des dimensions linéaires produites par les modifications de la teneur en eau. Pratiquement, les expériences ont porté sur le retrait de prismes de mortier de ciment, conservés dans l'air privé d'acide carbonique, et dans l'acide carbonique. Comme Passow (*loc. cit.*) l'avait constaté, pour une étude de ce genre, il est avantageux de soumettre le mortier à une dessiccation partielle, pour hâter l'action de l'acide carbonique; au cours d'autres investigations poursuivies à la Building Research Station, on avait déterminé les conditions les plus favorables à cette expérience.

Comme éprouvettes, on a employé des prismes de $14 \times 3,2 \times 0,6$ cm en mortiers ciment-sable 1 : 3 gâchés jusqu'à consistance plastique; les expériences ont été faites quand les mortiers avaient dix jours, et leurs résultats sont consignés tableau 1.

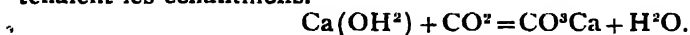
TABLEAU I.—Expansion et contraction de mortiers de ciment conservés à l'air et à l'acide carbonique.

Temps.	Variation linéaire, pour cent.					
	Ciment Portland		Ciment Portland à durcissement rapide		Ciments aluminieux.	
	à l'air	Dans CO ²	à l'air	Dans CO ²	à l'air.	Dans CO ²
1 heure	—	+0,010	—	+0,005	—	+0,003
1 jour	—0,0022	—0,037	—0,0015	0,041	—0,0007	—0,011
2 jours	—0,0040	—0,051	—0,0023	—0,064	—0,0011	—0,019
4 "	—0,0050	—0,060	—0,0037	—0,075	—0,0018	—0,025
8 "	—0,0064	—0,065	—0,0050	—0,081	—0,0022	—0,031
16 "	—0,0076	—0,071	—0,0070	—0,086	—	—
32 "	—	—	—	—	—	—

Si l'on considère les valeurs successives à partir d'un jour de conservation, on voit que pour l'acide carbonique les divers ciments présentent une contraction bien marquée. La conservation à l'air donne lieu à une légère contraction, due à un complément de dessiccation des échantillons déjà partiellement séchés. Comme pour tous les échantillons l'humidité de l'atmosphère dans laquelle avait lieu la conservation était la même, la différence ne peut être imputée à une différence dans l'humidité ambiante, et la différence que présentent la contraction dans l'acide carbonique et celle dans l'air fait ressortir l'influence de l'acide carbonique. Conjointement aux mesures des variations que présentaient les dimensions linéaires, on a mesuré les variations de poids, ce qui a fait ressortir pour la conservation à l'air une légère diminution de poids (due à la dessiccation), et pour la conservation à l'acide carbonique un gain de poids bien marqué.

Les deux ciments Portland présentaient dès l'abord une légère expansion lorsqu'ils étaient exposés à l'acide carbonique; il se produit au même moment une élévation bien nette de température, mais l'expansion n'est pas due à cette cause seule. Des variations de température qui ont été relevées sur l'un des échantillons, il ressort que la dilatation thermique produite par l'élévation de température ne serait que de l'ordre de $\frac{1}{10}$ ième de la variation des dimensions linéaires observées. La vraie raison est probablement fournie par l'égalité

chimique représentant l'action de l'acide carbonique sur la chaux libre que contenaient les échantillons.

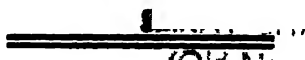


Pour chaque molécule d'acide carbonique entrée en combinaison, une molécule d'eau s'est trouvée libérée; cette eau passe dans le gel résiduel, ou bien elle se vaporise partiellement ou complètement, suivant (a) l'allure à laquelle l'acide carbonique est absorbé, (b) la densité de l'échantillon, et (c) les propriétés du milieu ambiant, au point de vue dessiccation. L'activité *propre* de l'acide carbonique ne pourra se manifester avant que cette eau ne se soit dissipée et que l'échantillon n'ait atteint son état d'équilibre, compte tenu de la tension de vapeur ambiante. Pratiquement, quand on soumet des échantillons de mortier de ciment à l'action de l'acide carbonique, on peut observer, soit une contraction, soit une expansion, soit une variation nulle dans les dimensions linéaires. L'activité réelle de l'acide carbonique ne peut se déceler que si l'on surveille étroitement le degré d'humidité, et, dans ces conditions, pour tous les cas examinés jusqu'à ce jour, on observe une contraction bien marquée.

La présente étude n'en est qu'à son stage préliminaire, mais elle est suffisamment avancée pour montrer que l'activité chimique de l'acide carbonique atmosphérique a des répercussions physiques bien marquées, dont l'une est une contraction très nette. Il importe d'attirer l'attention sur l'importance de ce phénomène, qui explique certains défauts, tels que le fendillement dont la surface du béton est l'objet lorsqu'il est exposé à l'atmosphère; on peut également considérer comme démontrée la nécessité de surveiller la composition de l'atmosphère dans laquelle se fait la conservation des échantillons de ciment destinés aux expériences de retrait par dessiccation (surtout si les échantillons sont de petite dimension, et que l'expérience est de longue durée).

Il a été dit plus haut dans cet article que l'activité de l'acide carbonique atmosphérique se traduisait par une diminution de la fraction du volume d'un échantillon de ciment, occupée par le gel du ciment hydraté. Des expériences faites avec le ciment alumineux, qui ne contient que des traces de chaux libre, et d'autres constatations non relatées ici, il ressort nettement que l'acide carbonique n'agit pas seulement sur la chaux libre, mais qu'il décompose dans une certaine mesure les hydrates issus du ciment. Ce n'est pas seulement le volume du gel qui se trouve modifié, mais également la composition chimique du ciment, abstraction faite du gel. Le gel qui subsiste lorsque l'activité chimique de l'acide carbonique s'est manifestée complètement a été enrichi en silice et en alumine, et appauvri en chaux; pratiquement, il peut être constitué partiellement de silice et de gel d'alumine. Ce gel, qui diffère incontestablement par sa composition chimique du gel ordinaire, issu du ciment, peut également en différer par sa teneur en eau. Cette question n'a pas encore été examinée, mais il est clair qu'à la surface d'un béton exposé à l'atmosphère, nous avons une matière foncièrement différente de la masse du béton qui se trouve dessous. Les propriétés de cette matière sur laquelle s'est exercée l'activité de l'acide carbonique ne sont pas encore entièrement connues.

Nous nous proposons de donner ultérieurement un compte-rendu complet des recherches ayant trait à l'activité de l'acide carbonique, et à ses répercussions sur les propriétés physiques du ciment.



Théorie de la formation du ciment.

par RUDOLF ZOLLINGER.

Nous qualifions le ciment de liant hydraulique; l'hydraulicité est conditionnée par la teneur en chaux libre, et la chaux libre provient de la décomposition dont les silicates et aluminates sursaturés en CaO sont l'objet dès que l'on ajoute de l'eau. Il ne peut par suite y avoir de chaux libre que s'il existait des substances sursaturées en chaux.

Considérons tout d'abord les combinaisons que SiO^2 forme avec CaO. Nous qualifierons de sursaturées en CaO les combinaisons $\text{SiO}^2.3\text{CaO}$, $\text{SiO}^2.2\text{CaO}$, $2\text{SiO}^3.3\text{CaO}$, et $3\text{SiO}^2.4\text{CaO}$. Ces quatre substances ont tendance à expulser CaO pour prendre l'état stable $\text{SiO}^2.\text{CaO}$. Pour les combinaisons de Al^2O^3 avec CaO, nous considérerons comme sursaturées en CaO les combinaisons $\text{Al}^2\text{O}^3.3\text{CaO}$, $\text{Al}^2\text{O}^3.2\text{CaO}$, et $3\text{Al}^2\text{O}^3.5\text{CaO}$; ces trois dernières substances ont tendance à expulser CaO pour se transformer et prendre l'état stable $\text{Al}^2\text{O}^3.3\text{CaO}$. Pour savoir quels silicates de CaO contient le ciment, on est ainsi amené à faire des recherches dans l'intervalle $\text{SiO}^2.3\text{CaO} - \text{SiO}^2.\text{CaO}$; de même, les aluminates de CaO se trouveront dans l'intervalle $\text{Al}^2\text{O}^3.3\text{CaO} - \text{Al}^2\text{O}^3.\text{CaO}$.

Mais, dans le ciment, nous n'avons pas affaire aux silicates purs, et, abstraction faite du cas limite du ciment alumineux théoriquement absolument pur, nous n'avons pas affaire non plus aux aluminates purs; dans la plupart des cas, on se trouve plutôt en présence de cristaux mixtes, silicates + aluminates. Si les silicates prédominent, nous nous trouvons en présence de ciments Portland, et si ce sont les aluminates, l'usage est de qualifier ces produits de ciments alumineux. Quoiqu'il en soit, dans le diagramme ternaire, il nous faut toujours chercher les ciments à l'intérieur de la région délimitée par les lignes des positions d'équilibre $\text{SiO}^2.3\text{CaO} \longleftrightarrow \text{Al}^2\text{O}^3.3\text{CaO}$, et $\text{SiO}^2.\text{CaO} \longleftrightarrow \text{Al}^2\text{O}^3.\text{CaO}$; le tracé de cette région fait l'objet de la figure 1 (page 1424). La ligne $\text{SiO}^2.3\text{CaO} \longleftrightarrow \text{Al}^2\text{O}^3.3\text{CaO}$ constitue la limite de la plus grande sursaturation qu'il soit possible d'atteindre, et correspond au meilleur ciment au point de vue hydraulicité; nous voyons que la ligne $\text{SiO}^2.\text{CaO} \longleftrightarrow \text{Al}^2\text{O}^3.\text{CaO}$ correspond aux ciments dont les propriétés hydrauliques ne peuvent plus être bien nettes, car la sursaturation en CaO a complètement cessé, et que le système d'équilibre ainsi modifié a pris une forme stable. Au delà de cette dernière ligne, la résolution pour CaO ne pourra plus se faire qu'avec difficulté, c'est-à-dire qu'il faudra surmonter une grande résistance interne. Comme nous le montrerons encore plus loin, on ne trouvera des ciments utilisables en pratique que dans la région des substances plus largement sursaturées en CaO.

Généralement parlant, pour la fabrication du ciment, les matières premières que l'on emploie sont la pierre calcaire et l'argile, ou des substances qui en sont un mélange naturel, comme par exemple la marne. La technique de la fabrication du ciment repose sur la résolution des silicates naturels par CaO. Malgré son activité chimique relativement faible, CaO suffit pour opérer cette résolution, car, dans l'argile, les silicates sont sursaturés en SiO^2 , et se prêtent par suite facilement à abandonner leur excès en SiO^2 . La fabrication du ciment consiste par suite, non seulement à résoudre l'argile, donc la substance sursaturée en SiO^2 , au moyen de CaO, mais encore à produire une substance sursaturée en CaO; cette substance constitue également un état instable, et cette instabilité, contraire à celle de l'argile, est mise à profit, en ce sens qu'elle bénéficie au point de vue hydraulicité de l'énergie de résolution des substances nouvellement sursaturées.

Le calcaire utilisé par les usines provient des roches les plus différentes; toutes sont de la catégorie des roches sédimentaires, et, dans toutes, on trouve une espèce minérale commune, la calcite, en chimie $\text{CO}^1.\text{CaO}$. Le processus de la cuisson consiste à en expulser CO^2 (calcination), afin d'avoir CaO libre et susceptible d'opérer le véritable travail de résolution. Si la roche qui contient la calcite se trouve à l'état poreux, nous nous trouvons en présence de tuf, appelé également dolérite, tuf calcaire, ou travertin. L'état dense et compact de cette matière correspond à l'appellation pierre calcaire, tandis que sa variété terreuse est la craie. Mentionnons encore la caillasse, les calcaires coralliens, ainsi que le marbre, qu'il serait évidemment difficile d'utiliser dans la fabrication du ciment, en raison de sa dureté, qui se traduirait par des frais de broyage par trop élevés.

Autant les pierres calcaires sont toujours d'une constitution relativement simple, autant celle de l'argile est complexe. L'argile est constituée par des silicates alumineux + CaO , ou silicates alcalins, donc par des cristaux mixtes, tels que SiO^2 soit toujours combiné à deux bases au minimum. Pour représenter l'argile dans la diagramme ternaire, il nous faut traduire par le calcul en silicates de chaux les silicates alcalins ou magnésiens éventuellement présents, et en silicates alumineux Fe^2O^3 ou les autres oxydes métalliques. Cette méthode se justifie théoriquement, car nous savons que lors des réactions dont le ciment est l'objet, l'activité des alcalis et de la magnésie est identique à celle de la chaux, et l'activité des oxydes métalliques identique à celle de l'alumine. Comme indiqué sur la figure 2 (page 1124), reportons les silicates de CaO possibles sur l'ordonnée $\text{SiO}^2\text{—CaO}$, et opérons de même pour les silicates alumineux sur l'ordonnée $\text{SiO}^2\text{—Al}^2\text{O}^3$. En reliant par des droites les points qui figurent les espèces de même nature, nous avons les positions d'équilibre pour les cristaux mixtes dont il a été question à propos de l'argile. En coupant ces lignes d'équilibre par la ligne des positions d'équilibre $\text{SiO}^2 \longleftrightarrow \text{Al}^2\text{O}^3.\text{CaO}$, qui constitue la base même de ces tracés, nous obtenons aux points d'intersection la composition moléculaire des cristaux mixtes, tels qu'ils se trouvent dans la nature quand on examine les espèces minérales à partir desquelles l'argile se forme. Outre les quatre types représentatifs que fait ressortir la figure 2, il existe naturellement encore d'autres mélanges réciproques, mais qui ne changent rien à ce mode de représentation, et ne pourraient que le rendre incompréhensible. Nous avons par suite à distinguer, pour en tenir compte, les quatre types suivants d'espèces minérales :

(1) $6\text{SiO}^2.\text{Al}^2\text{O}^3.\text{CaO}$, c'est-à-dire l'hexasilicate, représentés dans l'argile par la famille des feldspaths.

(2) $4\text{SiO}^2.\text{Al}^2\text{O}^3.\text{CaO}$, c'est-à-dire le tétrasilicate, représenté dans l'argile par le kaolin.

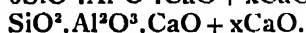
(3) $2\text{SiO}^2.\text{Al}^2\text{O}^3.\text{CaO}$, c'est-à-dire le bisilicate, substance connue dans les argiles sous les noms d'anorthite et de feldspath calcaire.

(4) $\text{SiO}^2.\text{Al}^2\text{O}^3.\text{CaO}$, c'est-à-dire le monosilicate, substance connue dans la nature sous le nom d'augite, et qui se retrouve également dans la famille des hornblendes.

Si nous nous rappelons que les espèces minérales sursaturées en SiO^2 ont tendance à se transformer pour prendre un état final correspondant à la formule R^2SiO^2 , nous pouvons prévoir que lors de la transformation, ce sont les feldspaths qui entreront le plus facilement en réaction, tandis que l'augite se montrera réfractaire à toute combinaison. A partir de l'hexasilicate, nous n'avons plus affaire qu'aux espèces minérales. On est par suite amené, pour les argiles, qui présentent au point de vue chimique une teneur supérieure en SiO^2 , à les considérer comme des mélanges d'argile et de SiO^2

libre, et par suite d'argile et de sable ou de quartz. Nous savons que les argiles contenant SiO_2 libre sont indésirables, et qu'en pratique on en extrait SiO_2 par lavage. Tirons de ce qui vient d'être dit les conclusions intéressant la fabrication du ciment.

Dans le diagramme de la figure 3 (page 1424), on a réuni les points représentatifs des cas limites pour les silicates au point CaO . Les nouvelles droites ainsi tracées représentent les positions d'équilibre des ciments susceptibles de se former, c'est-à-dire :



Ces lignes d'équilibre coupent les lignes d'équilibre des systèmes silicates de CaO : aluminates de CaO qui nous intéressent dans le cas du ciment ; comme les premières d'entre elles délimitent déjà la région que le ciment est susceptible d'occuper, nous pouvons dire que les divers ciments ne peuvent occuper que la région A-B-C-D, s'il s'agit du ciment Portland, et la région B-C- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ — $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ (éventuellement jusqu'à $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$) dans le cas du ciment alumineux.

Figure 4 (page 1424), nous voyons que la région A-B-C-D est divisée en plusieurs parties par trois nouveaux systèmes. Les points de la ligne $\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \longleftrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ ne peuvent correspondre à un ciment quelconque ; étant afférents à deux constituants stables, l'hydraulicité à prévoir serait nulle ; le premier ciment véritable se trouve au point I. Ce point I est celui de la position d'équilibre $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO} \longleftrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$, mais il peut correspondre également à la position d'équilibre $\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \longleftrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$; en d'autres termes, un ciment de cette composition peut être sursaturé, aussi bien du fait de son constituant silicate de CaO , que du fait de l'aluminate de CaO , et il résulte de ces deux éventualités que nous avons affaire ici à un cas limite. Ce ciment peut être représentatif du groupe du ciment Portland, comme aussi du groupe du ciment alumineux, et c'est ce point qui marque la transition d'un système à l'autre.

Dans les ciments correspondant aux points M et N, outre les états d'équilibre silicates de CaO : aluminates de CaO , on peut trouver comme constituant du silicate d'aluminium. Par exemple au point N on peut avoir en état d'équilibre : $5(\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}) \longleftrightarrow (\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$ et $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}) \longleftrightarrow 6(\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO})$.

Au point M, peuvent se trouver en état d'équilibre $(\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}) \longleftrightarrow (\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$ et $2(\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO}) \longleftrightarrow (\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO})$.

Ces possibilités forment la transition entre le ciment et les verres ou les laitiers. Comme région sûre où le silicate de CaO et l'aluminate de CaO peuvent se trouver en équilibre, il nous reste la région délimitée par les points C-D-E-I, et éventuellement C, D, N, M, I. Ce n'est que dans cette région que nous trouverons avec certitude la matière que nous qualifions de ciment Portland. Si maintenant nous marquons les points d'intersection des lignes des positions d'équilibre des systèmes silicates de $\text{CaO} \longleftrightarrow$ aluminates de CaO avec les lignes formant le périmètre de la région C-D-E-I, nous sommes fondés à qualifier de caractéristiques les ciments C, D, E, F, G, H, I, K, et L. Il y a encore lieu de mentionner que les ciments C, L, K, et I sont pratiquement sans valeur. Nous avons vu que la ligne des positions d'équilibre $\text{CaO} \longleftrightarrow \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ sur laquelle se trouvent ces ciments aboutit à la famille de l'augite et de la hornblende. Nous savons que les espèces minérales de cette famille ont déjà atteint leur état stable, et qu'elles ne se sépareront de SiO_2 qu'avec la plus grande difficulté, ce qui voudrait dire qu'en pratique la résolution des espèces minérales de ce type nécessiterait un grand travail, et que ce serait une résolution onéreuse. La pratique montre qu'en fait les argiles de cette composition ne sont pas

employées industriellement, mais il y a néanmoins un certain intérêt théorique à les faire figurer ici. Au point de vue composition minérale, les ciments envisagés auraient la composition suivante.

- Ciment C—($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$)
 „ D—6 ($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$)
 „ E—3 ($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) - ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$)
 „ F—3 ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$)
 „ G—2 ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$)
 „ H—3 ($\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO}$) - 2 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$)
 „ I—($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$), ($\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$)
 „ K—($\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$), ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$)
 ($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$)
 „ L—($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$), ($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$).

La composition chimique qui en résulte serait :

Module du ciment.	CaO.	Al_2O_3	SiO_2
C 2,06	67,43	20,48	12,09
D 2,53	71,72	6,24	22,04
E 2,17	68,50	6,94	24,56
F 1,80	64,10	12,96	22,94
G 1,51	60,16	18,27	21,57
H 1,34	56,75	22,99	20,16
I 1,00	50,88	30,90	18,22
K 1,38	57,99	26,42	15,59
L 1,72	63,31	23,07	13,62

On peut considérer comme théoriquement réalisables tous les ciments qui se trouvent à l'intérieur du pentagone C - D - N - M - I. La difficulté de la résolution des espèces minérales de la famille augite-hornblende, qui est hors de proportion avec les ciments qu'elles produiraient, s'oppose à toute utilisation des argiles dont les espèces minérales de cette famille formeraient la majeure partie. Ces espèces exceptées, les matières premières que la nature met à notre disposition sont principalement les argiles contenant, soit du kaolin, soit du kaolin et du feldspath.

Faisant appel aux teneurs minimum et maximum déterminées par la pratique, et nous reportant au pentagone théorique obtenu, nous obtenons un nouveau pentagone plus petit, ayant approximativement pour sommets les points D - N - X - Y - Z. Les ciments correspondant à ces sommets seraient représentés comme suit :

Composition minérale.

- Ciment D—6 ($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$)
 „ N—5 ($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) - ($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), 6 ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$)
 „ X—3 ($\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$), 2 ($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) - ($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)
 „ Y—2 ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$), 2 ($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$)
 „ Z—2 ($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$)

Composition chimique.

Module du ciment.	CaO.	Al_2O_3	SiO_2
D 2,53	71,72	6,24	22,04
N 1,80	64,45	7,85	27,70
X 0,98	54,30	16,50	29,20
Y 1,77	63,79	16,61	19,60
Z 2,26	69,43	14,03	16,54

Le dosage de la chaux libre dans le ciment.

par G. A. ASHKENASI

(CHIMISTE EN CHEF DE LA CIE NESHER, FABRIQUE DE CIMENT PORTLAND, PALESTINE).

La détermination de la chaux " libre " a été de tout temps un des plus importants problèmes que posent les recherches sur le ciment ; en décelant la chaux " libre " et la chaux " combinée," le chimiste du laboratoire d'analyse a pour but d'approfondir la constitution du ciment Portland, tandis que la tâche du chimiste industriel consiste à ramener au minimum la proportion de " chaux libre," par un réglage approprié du processus de la cuisson. Depuis Sainte-Claire Deville¹, qui dosait la chaux libre au moyen de nitrate d'ammonium en solution dans l'alcool absolu, jusqu'à ce jour, les méthodes permettant de résoudre ce problème ont fait l'objet d'un grand nombre de communications. En 1909, le professeur Alfred D. White² a trouvé une solution pour la détermination qualitative de la chaux libre, basée sur la formation du phénolate de calcium cristallin, substance qui peut être aisément identifiée au microscope dans la lumière polarisée. D. D. MacFarland et H. F. Hadley³ recommandent d'employer du p. crésol au lieu de phénol, et leur méthode est plus exacte et plus sûre.

Pour la détermination quantitative de la chaux, la plus grande difficulté provient de ce que le ciment s'hydrolyse quand les réactifs auxquels on le mélange contiennent de l'eau ; si l'on emploie d'autres moyens, la chaux combinée se trouve également attaquée. Maynard⁴ a eu l'idée d'extraire du ciment l'oxyde de calcium au moyen de glycérol ; cette idée a été perfectionnée par W. E. Emley⁵ auquel on doit une méthode pour déceler la quantité de chaux libre que contient le ciment. La méthode d'Emley, actuellement pratiquée dans l'industrie, est basée sur l'extraction de la chaux non combinée par une solution alcoolique de glycérol, et au dosage du glycérate de calcium par une solution alcoolique d'acétate d'ammonium. Cette méthode est toutefois assez compliquée. Il faut beaucoup de temps et de soins pour préparer les réactifs, qui doivent être absolument privés d'eau, et on éprouve une difficulté spéciale à préparer de l'acétate d'ammonium privé d'eau. D'autres sources d'erreurs proviennent des conditions spéciales du dosage, de la séparation de l'ammoniac par chauffage ; en opérant sous un condenseur à contre-courant, et de la longue durée du chauffage, qui occasionne la formation d'un précipité de glycérate de calcium cristallin ; ce précipité nuit à la précision du dosage. J'ai étudié cette méthode pendant plusieurs mois au laboratoire de mon usine, et ai obtenu chaque fois des résultats divergents.

Je ne suis pas le seul à avoir obtenu des résultats incertains ; Lerch et Bogue⁶ ont réparti pour analyse huit ciments différents entre dix-sept laboratoires, et les résultats divergeaient d'environ 25%. Avec l'échantillon N₁, par exemple, on obtenait au maximum une proportion en CaO de 8,5%, et au minimum 6,3% ; avec l'échantillon N₂, le maximum était de 7,8% et le minimum de 5,7%. Quand on opère sur le ciment du commerce, qui est toujours partiellement hydrolysé, les résultats obtenus par la méthode d'Emley sont tout à fait inacceptables, et on a par suite cherché à substituer un autre réactif à l'acétate d'ammonium.

¹ " Journ. für prakt. Chemie," p. 62, 81.

² " Ind. and Eng. Chem.," No. 1, 1909, p. 5.

³ " Chem. Zeit.," No. 122, 1912.

⁴ " Trans. of Am. Cer. Soc.," No. 17, 1915.

⁵ " Tonind. Zeit.," No. 27, 1903, p. 1253.

⁶ " Zement," 1931, p. 653.

⁷ " Tonind. Zeit.," 1928, p. 1318 ; " Zement," 1931, No. 28.

⁸ " Journ. of Soc. of Chem. Ind.," 1930, p. 360.

M. H. Rathke⁷ a trouvé dans l'acide tartrique un réactif mieux approprié, et G. E. Bessey⁸ a employé l'acide benzoïque avec succès; le dosage par ces réactifs est plus simple, et les résultats obtenus concordent entre eux. Pour obtenir une solution d'acide tartrique N/10, Rathke suggère de chauffer pendant vingt-quatre heures, à une température de 60-70°, de l'oxyde de calcium pur avec du glycérol anhydre, en agitant le mélange de temps à autre; à la fin de ladite période, CaO s'est complètement dissous. On traite la solution par une solution alcoolique d'acide tartrique, en employant comme indicateur la phénolphthaléine.

J'ai simplifié cette méthode en supprimant les vingt-quatre heures de chauffage et la nécessité d'agiter, et en opérant comme suit :

Titrage de l'acide tartrique N/10.—Dissoudre 7 gr 5 d'acide tartrique dans 1000 cm³ de méthanol absolu. Triturer à fond dans un mortier d'agate 50 mg de CaO parfaitement pur avec 2 cm³ de glycérol d'un poids spécifique de 1,24-1,26; lessiver ce mélange dans un flacon d'Erlenmeyer avec 8 cm³ de glycérol (à quatre reprises avec 2 cm³ chaque fois), et ensuite avec 10 cm³ de méthanol. Ajouter ensuite 30 cm³ supplémentaires de méthanol, couvrir le flacon avec un verre de montre, et porter à ébullition; la liqueur, qui était trouble, devient limpide après trois à quatre minutes d'ébullition, et il faut éviter de chauffer plus longtemps pour éviter la précipitation du glycérate de calcium cristallin. La liqueur bouillante est traitée par la solution à N/10 d'acide tartrique préalablement préparée, en employant comme indicateur une solution de phénolphthaléine dans l'alcool méthylique. L'opération du dosage est très rapide, le changement de couleur de l'indicateur, qui passe du rouge au rose et enfin se décolore, est très net, et, en réitérant, on n'a pas une différence supérieure à 0,1 cm³. Ne pas oublier que l'on obtient toujours une quantité de CaO supérieure à la quantité vraie; au lieu de la valeur théorique de 0 gr 0028 de CaO, correspondant à 1 cm³ d'acide tartrique N/10, on obtient en moyenne 0 gr 0036, et la valeur reste la même si l'on emploie de l'oxyde de calcium hydraté au lieu d'oxyde de calcium. Pour neutraliser 66 mg de Ca(OH)², il faut (en moyenne) 13 cm³ 7 d'acide tartrique N/10, ce qui correspond à 0 gr 00364 de CaO pour 1 cm³ d'acide tartrique N/10.

En dosant par l'acide benzoïque, G. E. Bessey⁸ obtenait également des résultats trop élevés, qui variaient dans ses expériences entre 0 gr 0030 et 0 gr 0037 de CaO par 1 cm³ de C⁶H⁵CO²H à N/10. Bessey expliquait cette divergence par l'hydrolyse des substances entrées en combinaison avec le glycérate de calcium, ou par la formation de petites quantités de substances stables par l'action d'acides résiduels, libérés par le chauffage du glycérol. On ne peut fournir aucune explication pour la différence que l'on constate ainsi entre la valeur théorique et celle qui résulte des expériences, mais, comme les nombreuses expériences donnent toujours la même valeur, on adopte la valeur fixée par la pratique, et toutes les expériences sont basées sur l'équivalence ainsi fixée: 0 gr 0036 de CaO correspond à 1 cm³ de la liqueur de C⁴H⁶O⁶ proposée par l'auteur. Dans ses expériences, l'auteur employait du ciment fabriqué à l'usine de Haifa selon le procédé sec dans un four rotatif. Les investigations ont porté sur un grand nombre d'échantillons variés, mais il suffira de décrire ici trois cas typiques.

Ciment A—provenait d'un clinker bien cuit, complètement scorifié, et moulu sans gypse dans un broyeur de laboratoire à la finesse correspondant à un refus nul au tamis de 4900 mailles.

Ciment B—provenait de clinker incuit, broyé de la même manière sans gypse, et à la même finesse.

Ciment C—échantillon moyen prélevé à l'atelier de mouture de l'usine, équipé

⁷ "Zement," 1931, p. 654.

de broyeurs compound. Le clinker a été moulu avec 2,5% de gypse à la finesse correspondant à un refus de 3,4% sur tamis de 4900 mailles. A l'épreuve d'invariabilité de volume par la méthode Le Chatelier, ce ciment présentait une expansion de 1 mm. après exposition de vingt-quatre heures à l'air; aux épreuves normales anglaises de résistance à la traction on obtenait après trois jours une résistance de 34 Kg/cm²; après sept jours, 39 Kg, et après vingt-huit jours, 42 Kg 5.

Avant dosage, le ciment était, soit séché à 120°, soit chauffé à 1050° jusqu'à poids constant dans un fourneau électrique à moufle. Un gramme de ciment ainsi traité était trituré dans un mortier d'agate avec 2 cm³ de glycérol, lessivé au glycérol (quatre fois avec 2 cm³), et ensuite dans un flacon d'Erlenmeyer par 10 cm³ de méthanol, après quoi on ajoutait 30 cm³ de méthanol supplémentaires. On recouvrait le flacon d'un verre de montre, le mélange était porté à ébullition pendant trois ou quatre minutes, et dosé immédiatement en employant comme indicateur une solution à 0,5% de phénolphthaléine dans du méthanol; on versait la liqueur jusqu'au moment où la couleur rouge et ensuite rose du liquide disparaissait; cette décoloration est très nette. Pour les échantillons que l'on s'était contenté de sécher à 120°, la couleur rose réapparaissait après quelques minutes; on la faisait disparaître de nouveau avec une goutte d'acide tartrique, et elle réapparaissait encore une minute plus tard. Pour les échantillons que l'on avait calcinés, le changement de couleur de l'indicateur persistait pendant plusieurs heures, même en recouvrant le flacon d'un verre de montre.

Si l'on poursuit l'opération du dosage sur des échantillons qui n'ont subi qu'un séchage, jusqu'au moment où la couleur rose ne réapparaît plus, il arrive un moment où le liquide reste incolore pendant plusieurs heures. Quand on dosait par exemple le ciment C, il fallait 3 cm³ de C⁴H⁶O⁶ à N/10 pour obtenir un premier changement de couleur, et il était nécessaire d'ajouter 3,8 cm³ supplémentaires d'acide pour obtenir un changement durable; ce phénomène peut s'expliquer par la présence des combinaisons basiques du calcium, qui entrent lentement en réaction. Avec le ciment calciné, les changements persistent plusieurs heures, et si le flacon est bien fermé, le liquide reste incolore plusieurs jours; dans ce cas le retour à la couleur rose provient de la présence de traces d'eau, que l'on ne peut éviter, et qui sont même indispensables pour que l'indicateur puisse jouer son rôle.

Dans le tableau I ont été consignés les résultats typiques que fournit le dosage de CaO dans le ciment séché et le ciment calciné; ces expériences ont été faites par le Dr. Ben-Jacob, assistant de l'auteur.

TABLEAU I.

(Proportion % de CaO obtenue par la méthode de l'acide tartrique et du glycérol.)

Echantillons séchés à 120°.					Echantillons calcinés à 1050°.	
Acide tartrique N/10 cm ³ .					Acide tartrique cm ³	CaO %
Ciment A	..	..	2,3 ; 2,25 ; 2,35	0,83	2,4 ; 2,35 ; 2,4	0,85
Ciment B	..	..	26,3 ; 26,2 ; 26,35	8,43	29,9 ; 29,8 ; 29,8	10,53
Ciment C	..	..	3,0 ; 2,9 ; 3,05	1,27	35,7 ; 35,8 ; 35,65	12,93

Ces résultats montrent que la proportion de CaO que l'on trouve dans le clinker bien cuit est toujours la même, et indépendante du traitement précédant le dosage. Dans le ciment incuit, la proportion de ciment augmente par la calcination; dans le cas du ciment B, l'augmentation est de 2,10%, et elle provient de la présence de carbonate de calcium (cette dernière substance ne peut être

déterminée par cette méthode dans les ciments qui ont été seulement séchés). Par la cuisson, CO^3Ca se transforme en CaO , ce qui augmente la quantité de chaux libre.

Le ciment C, contenant du gypse, donne des résultats très divergents. Dans les échantillons séchés, la proportion de CaO est égale à 1,27 %; dans ceux qui ont été calcinés, cette proportion atteint 12,93 %. Les produits volatils expulsés par la calcination ont été recueillis et analysés; ils étaient composés de 1,47 % d'acide carbonique, et de 2,34 % de vapeur d'eau, et l'on n'a trouvé ni anhydride sulfurique, ni anhydride sulfureux. La quantité d'acide carbonique ainsi expulsée justifierait une augmentation de 1,89 % pour l'oxyde de calcium, mais les résultats obtenus font ressortir une augmentation de 11,66 %. Pour approfondir ce phénomène, on a calciné des échantillons de ciment C pendant trois, quatre, vingt-quatre, et trente heures; le tableau II donne les résultats du dosage de ciment après calcination à 1050° de la durée indiquée.

TABLEAU II.

				$\text{C}^4\text{H}^4\text{O}^4 \text{ N}/10$ cm^3	Proportion moyenne de CaO %.
Ciment chauffé à 1050° pendant	3 heures	..	..	36,35 ; 36,45	13,18
" " " "	6 "	..	..	38,80 ; 38,70	13,97
" " " "	24 "	..	..	39,10 ; 39,0	14,06
" " " "	30 "	..	..	39,05 ; 38,90	14,03

On voit que la teneur en CaO augmente légèrement au début, pour atteindre son maximum lorsque les échantillons ont été chauffés 6 heures. Pour étudier l'influence de la quantité de gypse, on a ajouté 1, 2, 3, et 4 % de gypse à deux molécules d'eau, finement moulu, au ciment C, qui en contenait déjà 2,5 %. Les échantillons ont été chauffés, les uns à 120° , les autres à 1050° , pendant diverses durées. Le dosage des échantillons a donné les résultats suivants, consignés tableau III.

TABLEAU III.
(Proportion % de CaO dans le ciment C.)

Gypse ajouté.	Echantillons séchés à 120° .	Echantillons chauffés à 1050° .			
		3 heures.	4 heures.	8 heures.	24 heures.
1% ..	1,08 ; 1,03	13,53 ; 13,88	—	—	13,80 ; 13,95
2% ..	0,98 ; 0,99	13,82 ; 13,88	—	—	18,61 ; 18,67
3% ..	1,13 ; 1,07	14,32 ; 14,11	16,21 ; 16,30	19,01 ; 18,86	19,06 ; 18,83
4% ..	1,02 ; 1,09	—	—	—	18,90 ; 18,97

Les résultats du dosage montrent que la quantité de CaO que contient le ciment séché est indépendante de la quantité de gypse. Dans les échantillons calcinés, dès que la proportion de gypse dépasse 3,5 %, la proportion de CaO augmente avec le gypse et avec la durée de la calcination; toutefois, après six ou huit heures de chauffage, pour 2 % de gypse ajouté, l'augmentation atteignait son maximum. Cette augmentation ne peut pas provenir de la décomposition du gypse, car, lorsque l'on calcine à 1050° le ciment avec le gypse qu'il contient, il n'y a pas dégagement d'acide sulfurique; en second lieu, les quantités de gypse que l'on trouvait, sont beaucoup plus élevées que la quantité de CaO contenue dans le gypse incorporé.

On est amené à admettre que, lorsque l'on chauffe du ciment contenant du gypse, une partie de l'oxyde de calcium reprend sa liberté; cette séparation

est limitée, et la proportion de chaux libre est la même, que le ciment contienne 4,5, 5,5, ou 6,5% de gypse. A ce point de vue, le phénomène est analogue à l'action du gypse, en tant que modérateur de la prise. L'hypothèse la plus probable est que, quand on en fait chauffer au contact du ciment, le gypse décompose les combinaisons peu stables formées par le calcium que contient le ciment, et on a ainsi de la chaux libre. D'autres recherches sur ce sujet sont en cours.

Etude minérale du ciment.

par A. C. DAVIS.

DIRECTEUR ADMINISTRATEUR DES USINES DES ASSOCIATED PORTLAND CEMENT
MANUFACTURERS, LTD.

Les articles précédemment parus ont montré qu'il est aisé de déterminer par les méthodes courantes de l'analyse chimique les éléments qui constituent le ciment Portland ordinaire, et il résulte des investigations ainsi faites que ces ciments, s'ils sont de bonne qualité, ne diffèrent que peu quant à leur constitution, quelles que soient les proportions des éléments que contiennent les divers échantillons. L'analyse chimique seule ne permet toutefois, ni au chimiste, si expert soit-il, ni à quiconque, de savoir si, dans la pratique, un ciment se montrera égal ou supérieur à un autre. Il n'y aurait aucune difficulté à préparer un ciment contenant exactement les éléments d'un ciment Portland de qualité courante, mais n'ayant absolument aucune des propriétés des liants hydrauliques. Pour la détermination de la valeur commerciale d'un ciment, on est par suite obligé de procéder à des essais physiques et mécaniques, dont il sera question plus loin.

Une connaissance parfaite de la chimie, et la mise en œuvre de ses ressources, sont par suite indispensables dans l'industrie du ciment Portland pour la fabrication, l'essai, et l'application de ce matériau; cette connaissance est essentielle pour suivre la composition du mélange des matières premières et celle du produit fini, et les particularités des matières premières entrant dans la fabrication, pour tenir compte éventuellement de leurs variations. Pour aborder la question du ciment Portland, il est certes nécessaire de posséder des connaissances étendues en chimie, science au concours de laquelle l'industrie du ciment a fait appel depuis longtemps; par contre, l'étude minérale de ce produit n'a été abordée que depuis peu, et, actuellement, le chimiste de cimenterie en délaisse l'examen chimique, pour entreprendre son étude minérale, et être ainsi mieux à même de répondre de façon précise à la question si souvent posée: " Qu'est le ciment Portland? "

L'étude minérale du ciment Portland a déjà fait ses preuves, et s'est montrée particulièrement précieuse pour compléter les recherches du technicien et du chimiste; on lui doit déjà d'importantes découvertes. Un bon microscope est un instrument indispensable pour équiper un laboratoire de cimenterie; comme on le sait, les constituants minéraux d'une roche peuvent s'identifier au microscope sous forme de sections minces, à l'aide de la lumière polarisée, et c'est cette méthode pétrographique qui a été appliquée au clinker de ciment Portland, préparé en sections.

Les deux substances minérales prépondérantes observées à ce jour dans le clinker de ciment sont l'alite et la célite. On arrive également à identifier d'autres constituants, mais il semblerait qu'ils sont dus à la présence d'autres éléments non essentiels, tels que le fer, la magnésie, les alcalis.

En partant de silicates de chaux et d'alumine parfaitement purs, on a réussi à obtenir synthétiquement les substances correspondantes, constituées uniquement d'alite et de célite. L'alite est une solution solide d'aluminate tricalcique et de silicate tricalcique, alors que la célite est une solution solide de silicate dicalcique et d'aluminate dicalcique. En état de fusion, ces aluminates et silicates sont réciproquement solubles en toutes proportions; il n'en est pas de même à froid, et le mélange se sépare en alite et célite, chacune de ces substances ayant réellement les propriétés du ciment. Pour que ces deux constituants puissent exister conjointement dans le ciment, il faut que sa composition centésimale rentre dans les limites ci-dessous :

Silice	..	..	..	..	18,5 à 23,2
Alumine	..	..	..	..	6,1 à 11,9
Chaux	..	..	..	..	63,1 à 68,1

Les ciments du commerce n'atteignent jamais la limite supérieure pour la chaux, car il est impossible de réaliser industriellement la température que leur cuisson comporte, mais au laboratoire il est possible de les obtenir. En pratique, le ciment n'atteint pas son point de fusion, mais le processus de la fabrication s'en rapproche de très près. La formation de solutions solides, en faisant subir conjointement aux matières une sorte de "frittage" à une température inférieure à leur point de fusion, est attribuée à un processus, qui rappelle la diffusion d'un solide dans le cas des métaux. Plus la température est élevée, plus le processus de la diffusion s'accomplit rapidement; le temps qu'il nécessite dépend également de l'importance des surfaces par lesquelles il se produit, et la diffusion est d'autant plus prompte que les matières sont plus finement moulues. Le frittage à une très haute température, suivi d'un refroidissement, très rapide également, sont à éviter, parce que l'aluminate de calcium est bien plus soluble dans le silicate aux températures élevées. Si le refroidissement est trop rapide, on obtient une solution solide sursaturée, qui constitue un état instable; la transformation qui aboutit à l'état stable s'accompagne d'un changement de volume, qui détruit la cohésion du clinker.

MM. Day et Shepherd, du Laboratoire de géophysique de l'Institut Carnegie de New-York, m'ont ouvert d'autres horizons sur la technologie du ciment; ces savants ont montré que le silicate tricalcique n'existait pas dans la série des substances binaires.

De l'étude minérale du ciment Portland, il semble ressortir que ce matériau n'a pas de constitution définie, parce qu'il n'est pas un corps homogène, mais un mélange de substances minérales; c'est un mélange de plusieurs substances, et ces substances, minérales ou non, forment le ciment Portland. Cette découverte est importante, et son interprétation nous rapproche considérablement de la connaissance définitive de la constitution du ciment Portland.

Les spécialistes du ciment sont d'accord pour dire que le nombre des substances minérales que contient le ciment Portland n'est pas inférieur à cinq; leur étude est complexe et loin d'être aisée, car dans les prélèvements de ciment Portland faits par intervalles, les substances ne se présentent ni d'une manière uniforme, ni avec les mêmes quantités, et il arrive que l'une des substances minérales manque, ou même plusieurs à la fois. Dans l'opinion de certains spécialistes, en dépit de leur diversité, toutes les matières que contient le ciment Portland ont la même origine, sinon elles ne seraient pas ce qu'elles sont; appartenant au genre ciment, elles proviennent de la cuisson de la chaux et de l'argile, avec expulsion complète de l'acide carbonique. Parmi les cinq substances minérales que contiendrait le ciment Portland, quatre sont cristallines, et une amorphe; chacune d'elles aurait sa propre constitution, mais en fait on n'est parvenu à aucune certitude pour aucune d'entre elles. Les substances minérales cristallines

que contient le ciment Portland sont appelées alite, bélite, célite, et félite; la substance minérale amorphe a été qualifiée de masse vitreuse ou "translucide."

L'étude de ces espèces minérales est rendue encore plus difficile par cette circonstance, que la fabrication du ciment Portland s'accompagne de leur fusion commune quand on procède à la cuisson du carbonate de chaux et de l'argile, et il n'a pas encore été possible de les séparer par les moyens scientifiques actuellement connus. On ne peut par suite savoir comment ces espèces minérales se comporteraient individuellement, si on arrivait à les isoler.

On sait que l'alite est un agent durcissant d'une grande énergie, et cette propriété est due au fait qu'en présence d'eau, l'alite se dissout très vite, elle se recouvre d'une forte couche gélatineuse, pour durcir ensuite en cet état.

Les observations faites montrent que les produits de la décomposition par l'eau sont nettement de deux sortes: l'un est une masse apparemment amorphe, qui devient partiellement cristalline après un certain temps; l'autre est une substance cristalline qui remplit toutes les cavités du ciment. Cette dernière substance est l'hydrate de chaux, et la masse amorphe semblerait être du silicate de chaux aqueux, probablement mélange d'oxyde d'aluminium également aqueux.

On admet que l'aptitude du ciment Portland à faire prise est due à la force adhésive dont la masse amorphe est capable quand elle est gonflée par l'eau, et le durcissement de la masse ainsi gonflée est dû principalement aux cristaux d'hydrate de chaux qui se forment à ses dépens.

Si l'hypothèse est exacte que l'alite soit une substance dans laquelle l'alumine et la silice peuvent se remplacer mutuellement, son action devrait varier avec la proportion de ces deux constituants. C'est probablement aux variations de la composition de l'alite qu'il faut imputer celle du temps de prise du ciment Portland, de sa résistance à la traction et à la compression. On n'a toutefois pas encore pu déterminer quelles sont les proportions d'alumine et de silice qui confèrent à l'alite les propriétés requises pour que le ciment Portland soit de la meilleure qualité.

La dissolution dont l'alite est l'objet n'affecte tout d'abord que sa surface, sans s'étendre généralement à l'intérieur de la masse. C'est probablement grâce à cette circonstance qu'après avoir moulu du ciment Portland ayant déjà fait prise, on a pu l'utiliser de nouveau comme ciment. Quand on gâche de nouveau le matériau ainsi préparé, il possède une aptitude bien nette à faire prise, et acquiert une certaine dureté; ce phénomène, qui semble dépendre dans une certaine mesure de la finesse du ciment primitif, est d'autant plus prononcé que ce ciment est plus grossier.

L'alite est une substance riche en chaux; elle en contient souvent jusqu'à 71%. Il s'ensuit que plus il y a de chaux dans le mélange cru, plus est grande la probabilité que le produit fini contiendra une grande quantité d'alite; en ajoutant ainsi de la chaux, on court toutefois le risque qu'elle se trouve en excès et donne lieu à la présence de chaux libre, qui détruirait l'invariabilité de volume et détériorerait un produit qui serait autrement de bonne qualité.

D'une manière générale, et selon nos connaissances actuelles, on peut dire que la qualité de l'alite et l'absence de chaux libre sont fonction de la température à laquelle on procède à la cuisson des matières premières préparées, et cette température est elle-même fonction de la composition des matières premières et du procédé de fabrication adopté. Si par exemple les matières premières préparées sont cuites à une température très élevée, il se peut que le clinker tombe en poussière au refroidissement; cette poussière, après gâchage, aura une prise très lente, et la résistance à la traction sera très mauvaise. Les ciments qui se désagrègent ainsi contiennent généralement une forte proportion

bélite ; de nombreux échantillons de cette nature sont toutefois presque exclusivement composés de félite. Cette assertion ne peut être imputée à ce que les deux matières ont pu être confondues, car la différence au microscope entre l'alite et la félite est si grande qu'aucune erreur n'est possible. Il est probable que le ciment désagrégé que l'on obtient dans un cas provient d'une cuisson opérée à température plus basse que celle des produits résultant d'une désagrégation, obtenus dans le second ; on peut en conclure qu'une température très élevée se traduit par la présence de félite, et une température moindre par celle de la bélite.

Notons en passant une remarque intéressante concernant les substances minérales que contient le ciment, et leur rôle dans la désagrégation du clinker de ciment lorsque la cuisson a été opérée à une température très élevée. Lorsque la cuisson d'un clinker a eu lieu à une température dépassant de beaucoup celle nécessaire à sa cristallisation, ce clinker contient une forte proportion de la substance minérale, dite masse vitreuse ; si l'on fait refroidir ce clinker lentement, il se forme progressivement des cristaux qui lui font perdre en partie sa nature vitreuse, et c'est ce phénomène qui occasionne sa désagrégation. Si toutefois on refroidit brusquement ce clinker à l'eau froide, la masse vitreuse du ciment Portland perd rapidement son état plastique pour devenir dense et rigide, ce qui rend la cristallisation impossible. A la suite de ce traitement, non seulement le clinker conserve intacte sa forme d'une manière permanente, mais encore il bénéficie de la présence en grandes quantités de la masse minérale vitreuse du ciment Portland, à propriétés hydrauliques, ce qui lui garantit sa propre hydraulicité.

Un microscope puissant permet de voir nettement que la félite est une substance minérale comportant deux plans de clivage bien définis, formée entièrement de lames parallèles ; tandis que l'alite est incolore, granulaire, forme des écailles, et comporte deux plans de clivage mal définis.

On estime que la dernière des substances minérales, la masse "vitreuse" dans le cas du ciment Portland, joue au point de vue minéral un rôle secondaire dans le ciment, mais les spécialistes ne sont pas d'accord sur ce point. L'expérience semble montrer que, dans certaines circonstances, cette masse vitreuse peut jouer un rôle aussi important que l'alite, et il a été soutenu que dans certaines conditions elle apporterait au durcissement la même contribution que cette dernière. Examinée au microscope, la masse "vitreuse" du ciment Portland a l'aspect d'un verre incolore, mais dans certains cas particuliers elle semble un peu jaune. Finement mouliue, gâchée avec de l'eau, et comprimée, cette masse se dissout avec une très grande lenteur à la température ordinaire ; dans l'eau chaude, la dissolution est plus rapide, et elle l'est extrêmement dans les liqueurs alcalines.

Plus récemment, on a appliqué les rayons X aux investigations sur les substances pouvant se présenter dans le clinker de ciment Portland ; on a pu faire ainsi des recherches sur la constitution du clinker de ciment Portland, et identifier les substances contenues dans les ciments du commerce. Les rayons X ont permis aux chercheurs de démontrer l'existence du silicate tricalcique, et de prouver qu'on peut l'obtenir en chauffant, dans des conditions appropriées, un mélange de chaux et de silice dans la proportion convenable. On a pu ainsi montrer également que le silicate dicalcique ne pouvait contenir en solution solide que des quantités peu appréciables de chaux, et que, si l'on chauffait avec soin un mélange d'une composition comprise entre 2 molécules de chaux pour 1 molécule de silice, et 3 molécules de chaux pour 1 molécule de silice, on obtenait, l'état d'équilibre atteint, un mélange de silicate tricalcique et de silicate dicalcique, soit alpha, soit beta.

En étudiant aux rayons X un mélange comportant 8 molécules de chaux pour 1 molécule d'alumine et 2 molécules de silice, on a constaté qu'aucune substance de cette composition n'existait, ni dans le système chaux, alumine et silice, ni dans le ciment Portland. Tout au contraire, s'il est chauffé comme il convient, ce mélange donne du silicate tricalcique, du silicate dicalcique bêta, et de l'aluminate tricalcique, ainsi qu'une petite quantité de chaux, si du moins l'état d'équilibre n'est pas atteint. D'autre part, en examinant plus particulièrement le système silicate tricalcique, silicate dicalcique, et aluminate tricalcique, on a pu constater que ni l'un ni l'autre de ces silicates, ni l'aluminate, n'entraient réciproquement en solution solide en quantités appréciables; l'état d'équilibre atteint, les mélanges contenaient uniquement ces trois substances.

La méthode des rayons X n'a pas permis de découvrir de chaux libre dans les clinkers de ciment du commerce. Les recherches sur l'identification de la chaux montrent que cette substance est reconnaissable à partir d'une proportion de 2,5%, et on en déduit que les clinkers du commerce ne contiennent généralement qu'une quantité de chaux, inférieure à 2,5%.

En vérifiant au laboratoire les clinkers par la méthode des rayons X, les substances que contient le ciment peuvent être identifiées à partir des quantités minimum ci-dessous :

	Per Cent.
Silicate tricalcique	8
Silicate bicalcique bêta	15
Aluminate tricalcique	6
Alumino-ferrite tétracalcique	15
Magnésie	2,5
Chaux	2,5

D'après les recherches par les rayons X auxquelles ont été soumis des clinkers à ciment représentant des matières premières et des procédés de fabrication d'une grande diversité, les constituants incontestablement les plus abondants que l'on ait identifiés dans chacun d'eux sont le silicate tricalcique et le silicate dicalcique bêta. On a également pu identifier à la fois ou séparément, dans la plupart des clinkers, l'aluminate tricalcique et l'alumino-ferrite tétracalcique; toutefois, pour un grand nombre de clinkers, le diagramme de l'une de ces substances faisait défaut, ou même tous les deux.

La méthode des rayons X a donné des résultats qui concordent avec ceux obtenus par les méthodes chimiques ou microscopiques; les résultats ont ainsi plus d'assiette, et se confirment mutuellement. On peut admettre que les résultats ainsi corroborés fixent définitivement la constitution majeure du clinker de ciment Portland; ces résultats indiquent :

(1) —que les constituants les plus abondants sont le silicate tricalcique et le silicate dicalcique bêta.

(2) —qu'en plus, il existe normalement dans le clinker de l'aluminate tricalcique, de l'alumino-ferrite tétracalcique, et de la magnésie; et enfin

(3) —que la quantité de chaux que contient le clinker est normalement inférieure à 2,5%.

Les nouveaux procédés pour la cuisson de la boue.

par E. SCHIRM.

On sait que la préparation des matières par voie humide a reçu de nombreuses applications en cimenterie, d'une part parce que le produit fini ainsi obtenu est plus régulier et d'une meilleure qualité, et d'autre part en raison de la forte humidité naturelle que les matières premières présentent souvent, et qui nécessiterait un séchage préliminaire si l'on appliquait le procédé sec, dont on ne pourrait, dans ces conditions, attendre aucune économie de combustible. Pour la cuisson de la boue, on emploie encore aujourd'hui le plus souvent le four rotatif dans toute sa simplicité, malgré la température élevée des gaz à sa sortie, et la grande perte de chaleur qui en découle; cette température est de l'ordre de 400 à 500°. Il existe par ailleurs deux méthodes, actuellement assez répandues dans cette industrie, qui permettent d'abaisser la température des gaz brûlés, ainsi ramener sans difficultés à une température voisine de 350°; l'une des méthodes est basée sur l'emploi de chaînes, fixées, dans le four du côté haut, et l'autre procédé par pulvérisation de la boue; ce dernier procédé consiste à injecter la boue dans le four sous forme d'une pluie très fine. Dans ce qui suit, nous nous proposons de décrire ces deux méthodes, ainsi qu'un certain nombre d'innovations, récemment expérimentées.

Les chaînes que l'on fixe dans le four du côté haut ont pour but d'augmenter la surface d'échange offerte aux gaz et aux matières, sans recourir à l'allongement du four rotatif. Les chaînes sont fixées avec du mou par les deux extrémités, ou bien par une extrémité seulement, et régulièrement réparties sur toute la circonférence du four rotatif; quelle que soit la position angulaire du four, une partie des chaînes pend perpendiculairement à l'axe du four, et leur extrémité inférieure plonge dans la boue. Le four continuant son mouvement de rotation, les chaînes se dégagent de la boue, étant complètement enrobées par cette dernière. Les chaînes emportent cette boue à la partie supérieure de la section du four, d'où elle s'écoule ou retombe en gouttes en mouillant tous les maillons. Cette couche humide de boue qui recouvre les maillons joue le double rôle d'augmenter sa surface de contact avec les gaz, et d'empêcher les chaînes d'être brûlées par les gaz; la boue humide ne peut naturellement remplir ce deuxième but que si elle reste suffisamment fluide pendant toute la durée de son contact avec les chaînes, qui brûleraient s'il en était autrement. Il s'ensuit, en outre, que le rôle des chaînes se borne nécessairement à contribuer au séchage préliminaire de la boue, et que son séchage définitif, qui la transforme en grumeaux, ne peut s'opérer qu'ensuite, dans la partie lisse du tambour du four rotatif. Toujours est-il que l'installation de chaînes dans la partie haute du four donne de bons résultats, ainsi qu'il a été constaté à la nouvelle usine du consortium Wicking, à Neuwied, où, grâce à cette méthode, la production par four atteint un chiffre très élevé. Il n'y a pas lieu de craindre que la matière se colle aux maillons en formant une croûte, car la boue est encore relativement fluide lorsqu'elle arrive au contact des chaînes. Même si la boue avait perdu une partie de sa teneur en eau, et avait gagné en consistance, elle n'aurait qu'une faible tendance à coller, car les maillons de la chaîne sont en mouvement réciproque continu, et la boue adhérente se trouve ainsi sans cesse détachée.

Le procédé avec pulvérisation de la boue est principalement appliqué en Angleterre; en opérant ainsi, on part de ce point de vue qu'il faut offrir dans le four une grande surface de contact aux gaz pour qu'ils puissent céder dans de

bonnes conditions leur calorique aux matières. En vue de rendre impossible tout collage au garnissage du four, on supprime ce dernier, et la boue est injectée sous pression par des buses dans le four nu. Dans ces conditions, la boue se présente aux gaz sous forme de nuage, et ce procédé est une nouvelle application d'un procédé dû à Kuhl, dans lequel la boue est également enfournée à l'état pulvérisé. En raison de la fine division de la matière ainsi enfournée sous forme de fine pluie, le contact des gaz et de la matière a lieu, dans des conditions idéales. La pratique montre, toutefois, qu'il n'est pas possible de réaliser un séchage complet de la boue tant qu'elle se trouve ainsi en suspension. Si la boue arrivait à un état proche de la siccité alors qu'elle est encore en l'air, elle serait emportée par les gaz et ramenée à l'extrémité du four par laquelle se fait l'enfournement. Une partie de ces poussières serait évidemment récupérée par les nouvelles gouttelettes, mais leur quantité est si grande qu'elles parviendraient en partie à la cheminée. Dans la pratique, on est ainsi amené à opérer de telle manière que la boue en suspension ne soit l'objet, comme précédemment, que d'un séchage préliminaire. La pression à la buse doit être ramenée à une valeur telle que les gouttelettes de matière retombent sur la paroi du four, n'ayant subi qu'une dessiccation restreinte. En ramenant ainsi la quantité de poussières à la limite admissible, pour une boue ayant la teneur en eau normale de 40%, la température des gaz à la sortie est encore de 350°.

Une autre difficulté est créée par le danger d'engorgement des buses par suite de leur faible diamètre; ces dernières doivent être aisément démontables en vue de leur remplacement. Il faut que les tuyères soient interchangeables en raison de leur usure assez rapide; il est également nécessaire de surveiller constamment et d'une manière attentive le poste d'entournement. Il peut arriver qu'il se produise un engorgement de la buse, ou d'un certain nombre d'entre elles, si l'équipement du four en comporte plusieurs, et qu'elles soient brûlées; dans les nouvelles installations, on supprime cette éventualité en disposant les buses dans une chambre spéciale, en dehors du trajet des gaz. Le jet qui sort des buses s'en trouve légèrement allongé, mais cette question est secondaire, et il suffit en compensation d'augmenter un peu la pression; par suite de l'entraînement de poussières, ce dispositif ne remédie pas au principal inconvénient de la méthode précédente, à savoir l'utilisation dans une limite restreinte de la chaleur des gaz. Pour pouvoir contrôler plus aisément le processus de la dessiccation dans la zone de suspension, on a déjà fait des essais pour séparer du four proprement dit la partie qui assure le séchage préliminaire, qui est ainsi opéré séparément, et on a également voulu reléguer cette partie du four à l'extérieur de ce dernier dans une colonne; la figure 1 (page 1356) représente un exemple d'une telle réalisation, choisi parmi un grand nombre d'autres dispositions analogues. La colonne a la forme d'une cheminée, et la boue est introduite à sa partie supérieure par une tuyauterie à perforations multiples. La boue tombe comme une pluie, et traverse ainsi la colonne de haut en bas, à la rencontre des gaz venant du four. L'engorgement des buses à boue ne se produit plus aussi facilement, car elles travaillent à une pression très modérée, et leur orifice en est d'autant plus grand. La boue séchée se rassemble sur la sole de la colonne, pour être acheminée au moyen d'une vis transporteuse sur un élévateur à godets; cet élévateur se décharge dans un dévaloir ou une deuxième vis transporteuse, qui opère l'enfournement. On pourrait évidemment disposer obliquement la sole de la colonne, qui jouerait ainsi le rôle de dévaloir, mais la boue épaissie pourrait y adhérer. La boue forme une croûte cohérente et gluante, qui, devenant de plus en plus épaisse, s'opposerait à l'arrivée des gaz et engorgerait toute l'installation. La boue ne peut être desséchée complètement dans la colonne, qui devrait avoir dans ce cas une hauteur inadmissible;

abstraction faite de cette circonstance, une dessiccation trop poussée produirait une quantité de poussières extrêmement grande. On est par suite conduit à n'opérer dans cette colonne qu'un séchage préliminaire de la boue, et, au point de vue utilisation de la chaleur, le résultat semble devoir être voisin de celui obtenu avec le procédé par pulvérisation. Il faut toutefois considérer que la boue relativement sèche pourrait coller aux parois de la colonne, et, en raison de la hauteur de cette dernière, il serait compliqué de la détacher par un mécanisme racleur. Avec le procédé par pulvérisation de la boue, le collage est moins à craindre, car le four rotatif étant constamment en révolution, la boue collée aux parois du tambour se détache pour la plus grande partie spontanément; on peut aisément renforcer ce phénomène en installant un petit nombre de chaînes ou de masses tombantes dans la zone où le collage peut se produire.

La proposition a été faite d'employer conjointement des chaînes et des buses pour l'injection de la boue; la disposition qui en résulte est représentée figure 2 (page 1357). On fixe invariablement les chaînes par une seule extrémité, l'autre étant lestée par un poids, et leur longueur est telle qu'elles reposent en grande partie sur la partie basse du tambour. Il s'ensuit qu'il faut presque doubler le nombre de chaînes, pour avoir la même surface d'échanges thermiques, car la moitié de la chaîne, reposant ainsi sur le tambour, n'est que peu exposée aux gaz brûlés, tandis que si les chaînes sont suspendues par leurs deux extrémités, il n'en repose qu'une faible longueur sur le bas du tambour. Cette circonstance ne peut être considérée comme un inconvénient rédhibitoire, et la disposition indiquée bénéficie de cet avantage que les chaînes se comportent indépendamment l'une de l'autre, et que toutes prennent une position rigoureusement verticale.

La buse est montée comme toujours dans la paroi de la chambre à poussières du four, opposée à l'extrémité de ce dernier, et elle est disposée un peu obliquement en plan. L'injection de la boue ne se fait pas comme dans le procédé à pulvérisation; la boue forme un jet fin et compact. Comme les chaînes sont disposées l'une derrière l'autre par rangées, le jet oblique se brise continuellement en un autre point de la cloison que forment les chaînes, et la boue est répartie presque uniformément sur l'ensemble du dispositif à chaînes. Cette disposition semble devoir donner à peu près les mêmes résultats que celle comportant des chaînes montées de la façon habituelle, avec enfournement par la méthode courante, car la boue se répartit uniformément sur les chaînes par la rotation du four.

Il existe un certain nombre de dispositifs pour l'épaississement de la boue, où le chauffage par les gaz brûlés se fait à travers une paroi; ce procédé permet également d'obtenir une transmission de chaleur élevée avec un faible encombrement. Dans la chambre à fumées du four (voir figure 3, page 1358), on a monté un tambour rotatif, ou mieux encore plusieurs, qui sont baignés extérieurement par les gaz brûlés, tandis que la boue circule à l'intérieur. Le départ des fumées se fait par plusieurs carneaux convenablement disposés, ce qui permet d'exposer les tambours plus ou moins à l'action des gaz; on peut même éventuellement dériver complètement le courant gazeux, ou encore, en disposant des chicanes, forcer les gaz à lécher les tambours à plusieurs reprises. La vapeur d'eau expulsée de la boue emprunte une voie particulière, et ne se mélange aux gaz brûlés qu'arrivée à la cheminée; elle ne se mélange donc pas aux gaz chauds sortant du four, dont elle abaisserait la température, et ce point constitue le principal avantage du chauffage de la boue par l'intermédiaire d'une paroi. Les gaz brûlés servent exclusivement ainsi à la vaporisation de l'eau, et la vapeur ainsi formée peut être acheminée immédiatement à l'extérieur.

sans subir aucune surchauffe, condition impossible à remplir si la boue se trouve au contact des gaz brûlés.

Si la surface d'échange est suffisante, on peut pousser assez fortement l'épaississement de la boue, car avec les tambours rotatifs, il n'y a aucune difficulté insurmontable à détacher les matières un peu trop épaissies qui pourraient se coller. Les tambours rotatifs, à vrai dire, ne présentent pas une surface d'échange bien grande, et, en raison du danger de collage, on ne peut descendre pour les tambours au dessous d'un certain diamètre. La proposition a déjà été faite de remplacer les tambours rotatifs par des serpentins, par lesquels la boue s'écoulerait; on peut obtenir facilement ainsi une surface d'échange permettant d'épuiser la chaleur utilisable véhiculée par les gaz brûlés, mais les serpentins s'engorgeraient si l'épaississement de la boue était trop poussé.

Dans d'autres installations, on monte une chaudière à la suite du four, et la vapeur produite sert à sécher la boue; la figure 4 (page 1358) est un exemple d'une telle disposition. Les gaz brûlés chauffent exclusivement la chaudière, et sont dirigés ensuite directement sur la cheminée. La vapeur est d'abord utilisée pour actionner une machine motrice, qui, comme on le sait, ne peut utiliser qu'une faible fraction de sa chaleur; avant d'aller au condenseur, la vapeur circule dans un séchoir aménagé en conséquence. Dans le présent cas, le séchoir est constitué par un certain nombre de tambours verticaux rotatifs dans lesquels circule la vapeur, tandis que la boue arrive sur les tambours par l'extérieur, pour être détachée par des racloirs à mesure qu'elle se sèche; les canalisations sont ainsi conçues qu'il est possible de dériver à volonté sur le condenseur une fraction quelconque de la vapeur. On n'opère toutefois ainsi que lorsqu'on y est contraint par les fluctuations de la consommation de vapeur de la machine motrice, car au point de vue rendement industriel, il est plus avantageux de consommer la totalité de la vapeur dans le séchoir.

Le séchoir se comporte en outre pour la vapeur comme un condenseur; dans le cas le plus favorable, toute la vapeur se transforme par suite en eau. La totalité de la chaleur consommée pour produire la vapeur serait ainsi cédée aux matières à sécher, ce qui suppose que ces dernières opèrent un refroidissement très énergique. Mais le travail du séchoir consiste à expulser l'eau que contient la boue, ce qui implique que la température de cette dernière dans le séchoir pendant la plus grande partie de son séjour dans le séchoir est voisine de 100° , et il n'est par suite pas possible de refroidir efficacement la vapeur dans ce dernier, d'où perte inévitable de chaleur. Une autre perte de chaleur provient de ce qu'il n'est pas avantageux d'abaisser la température des gaz brûlés dans le générateur de vapeur au dessous de 250° ; la chaleur résiduelle se perd par la cheminée. Pour apprécier le bilan thermique d'une telle installation, on remarquera que si les matières sont suffisamment épaissies dans le séchoir, la température des gaz à la sortie du four se rapproche de celle que l'on obtient dans le procédé sec; la température des gaz à l'entrée de la chaudière est par suite relativement élevée.

Dans la disposition représentée figure 5 (page 1359), la vapeur sert également de véhicule à la chaleur, mais elle circule ici en circuit fermé. La boue subit d'abord un réchauffage préliminaire, qui porte sa température à 100° environ; elle est ensuite projetée sous forme pulvérisée dans un tambour séchoir, où la vapeur surchauffée à une température voisine de 400° circule à contre-courant. La vapeur expulse l'eau de la boue, et s'en enrichit; sa température se rapproche ainsi de celle du point de saturation, et, au point de vue quantitatif, à la vapeur de chauffage s'ajoute celle expulsée de la boue. Après captation des poussières emportées par la vapeur, une partie de cette dernière est refoulée par pompage sur un surchauffeur placé sur le trajet des gaz brûlés

du four, d'où elle retourne au tambour sécheur; la vapeur en excédent, qui correspond à l'eau expulsée de la boue, est envoyée dans un petit surchauffeur spécial, pour rejoindre ensuite une machine à vapeur à condensation. Les gaz sortant du four circulent en premier lieu dans le petit surchauffeur alimentant la machine à vapeur, ensuite dans le surchauffeur principal, et enfin dans le préréchauffeur pour la boue; cet équipement permet de ramener aisément les gaz brûlés à une température voisine de 200°. Les gaz brûlés n'arrivent jamais au contact de la boue, mais lèchent uniquement les surchauffeurs et le préréchauffeur. Il n'y a pas à redouter que les tubes des réchauffeurs ne soient brûlés, car ils sont efficacement refroidis intérieurement par la vapeur, et cette disposition permet de tirer parti dans une forte proportion de la chaleur véhiculée par les gaz brûlés.

En théorie, une telle installation fonctionne donc d'une manière idéale; à ma connaissance, elle n'a été réalisée qu'une seule fois, à titre expérimental, en Pologne. La captation des poussières que véhicule la vapeur d'eau présente naturellement des difficultés, mais la plus grande provient du dégagement excessif de poussières dans le séchoir; ces difficultés sont les mêmes que dans le procédé à pulvérisation de la boue. Si les matières subissent un séchage trop fort dans le tambour sécheur alors qu'elles sont encore en suspension, la vapeur surchauffée les emportera en grandes quantités, et, dans ces conditions, on se heurterait en pratique à des difficultés insurmontables. Si les gouttelettes de matière arrivent au contact des parois du tambour étant encore humides, condition qu'il est aisé de remplir en réduisant, soit la pression, soit la quantité de vapeur à la buse, comme la transmission de chaleur est très restreinte depuis le point d'impact jusqu'à l'extrémité du tambour, et que le séchage est pratiquement terminé dès que les gouttelettes arrivent au contact des parois, la boue arrive au four, n'étant que faiblement épaissie.

Il est incontestable que le chauffage et l'épaississement de la boue par voie indirecte constitue une complication qui occasionne des pertes de chaleur, et nécessite en plus une installation compliquée; les tentatives n'ont par suite pas manqué, ayant pour objet de sécher la boue crue par contact direct avec les gaz brûlés. Un grand nombre d'essais ont été faits en ce sens dans le cours de ces toutes dernières années; nous n'en exposerons que quelques uns, procédant par des voies foncièrement différentes. Tous ces essais ont ce point commun, que l'épaississement de la boue est opéré par un dispositif spécial, qui précède le four.

L'installation représentée figure 6 (page 1360) est un séchoir à disques; un certain nombre de ces disques sont montés sur un ou plusieurs arbres horizontaux. Lorsqu'il y a plusieurs arbres, les disques sont décalés les uns par rapport aux autres, chacun d'eux tombant dans l'intervalle de deux autres disques; à la partie inférieure, les disques trempent dans la cuve à boue, et la boue participe à leur mouvement ascendant. La moitié supérieure des disques est baignée par le courant des gaz brûlés, qui circulent parallèlement à la face des disques et séchent ainsi la boue qui y adhère; la boue ainsi partiellement séchée est détachée par un racloir et retombe dans la cuve à boue, mais on peut aussi l'enfourner immédiatement. Une vis sert à extraire la boue de la cuve; il convient de faire tourner les disques dans le sens voulu pour que la boue à sécher se déplace à la rencontre du courant gazeux.

Cette disposition n'a pas donné de résultats bien décisifs, ce qui tient à plusieurs raisons. Il faut que les disques aient un diamètre assez grand, pour que la surface d'échange soit suffisante; les gaz accomplissent un trajet relativement important entre les disques, et les matières exercent sur leur écoulement une grande résistance. Comme pour les chaînes, il y a lieu de craindre que les

disques ne brûlent si la dessiccation de la boue devient trop forte. De toutes ces conditions réunies, il résulte que ce dispositif ne peut soutenir la comparaison avec les autres dispositifs de séchage.

Dans la cuisson du ciment préparé par voie sèche, on a employé ces derniers temps avec succès le procédé Lellep, qui consiste à mettre la matière crue sous forme de boulettes contenant environ 10% d'eau; ces boulettes sont déposées sur une grille mécanique, que traversent par dépression les gaz brûlés, et ce procédé se caractérise par la basse température des gaz brûlés, après passage de la grille mécanique. On a été naturellement conduit à perfectionner ce système pour l'appliquer à la cuisson de la boue, et plusieurs propositions ont été faites en ce sens. Dans la plupart, on fait subir à la boue un séchage préliminaire, pour la mettre sous forme de boulettes, que l'on traite suivant le procédé Lellep. Il est clair qu'en raisonnant ainsi, on escamote la véritable difficulté, qui consiste à organiser un dispositif approprié, d'un fonctionnement sûr, qui permette d'épaissir la boue avec le minimum de chaleur.

Pour sortir de cette impasse, comme le représente la figure 7 (page 1361), on a proposé d'épaissir d'abord mécaniquement la boue, pour ramener sa teneur en eau à 25% environ. La boue se trouve alors à l'état pâteux, c'est-à-dire qu'elle n'est plus à même de couler, mais elle ne forme pas encore de grumeaux, elle est molle comme le beurre. On peut alors la mettre sous forme de boudin ou analogue, état dans lequel la matière ne s'agglomère que légèrement lorsqu'elle est répartie en couche mince. Dans l'installation représentée figure 7, la boue contenant au plus 25% d'eau subit ce traitement préliminaire avant d'être déposée sur une grille annulaire, constituée par des barreaux jointifs montés radialement, et tournant lentement autour de son axe vertical. Quand cette grille annulaire a fait un tour complet, la matière est suffisamment sèche pour se mettre en grumeaux, et il n'y a plus à craindre que les particules s'agglomèrent. Le gâteau est alors reloué par des organes frappeurs à travers les interstices de la grille, et il tombe sur une deuxième grille annulaire disposée en contre-bas, constituée de préférence par des éléments de grille superposés, formant échelle, et sur laquelle la matière séjourne pendant un tour de la grille. La matière est chauffée par les gaz brûlés sortant directement du four, qui traversent la grille de bas en haut par dépression comme dans le procédé à colonne. Sur cette grille, le séchage est complet, et la désacidification s'amorce. La matière est raclée de cette grille de la manière habituelle, et acheminée sur le four rotatif, où s'accomplit la cuisson définitive. Les gaz brûlés traversent d'abord la grille inférieure, et sont dirigés sur le dessus de la grille supérieure par une canalisation non représentée sur la figure, et qu'ils quittent à une température qui, paraît-il, ne dépasse pas 100° environ.

Avec ce dispositif, la question est de savoir si on obtient un séchage appréciable sur la grille supérieure; tout se ramène probablement à ne traiter sur cette grille qu'une boue déjà bien épaissie; cet épaississement doit, par suite, être réalisé pour la plus grande partie à l'aide d'un équipement épaississeur mécanique, par exemple un filtre, et nous discuterons plus loin dans quelle mesure cette opération est possible.

Comme on le sait, le procédé Lellep dont il a été question plus haut n'est applicable qu'aux matières sèches, car on peut aspirer les gaz à travers une matière en grumeaux, mais non à travers une matière fluide; du reste, la boue passerait par les interstices de la grille. La disposition représentée figure 8 (page 1362) emploie un moyen particulier pour transformer la boue en grumeaux. On mélange la boue avec des corps solides, par exemple des briques réfractaires concassées, ce qui détruit dans une certaine mesure sa compacité, et les briques concassées ménagent des passages aux gaz. Le séchage

préliminaire se fait dans une colonne qui reçoit au sommet la boue et les briques concassées. La partie inférieure de la paroi de la colonne est constituée par une grille, par laquelle les gaz brûlés entrent dans la colonne, tandis que la boue mélangée aux briques concassées la traversent pour arriver à un trommel tamiseur où la boue séchée se sépare des fragments de brique. La boue séchée s'achemine par un convoyeur sur le four rotatif, tandis que les fragments de briques retournent à la colonne; ces fragments accomplissent ainsi constamment un circuit fermé, sans que leur température puisse dépasser 100° au maximum, car, à la sortie de la colonne, il faut que la boue contienne encore au moins des traces d'eau. Les pertes de chaleur qu'occasionnent les briques concassées ne peuvent par suite être très grandes; elles sont du reste limitées au rayonnement pendant le transport du trommel tamiseur au sommet de la colonne.

On peut admettre qu'une installation ainsi conçue se présente sous un jour favorable; il semble que la séparation des fragments de briques et de la boue ne présente pas de grandes difficultés, d'autant plus qu'il n'est pas nécessaire que cette séparation soit absolument parfaite. La question est de savoir quelle quantité de boues peut être véhiculée par les fragments de briques, sans que les gaz aient trop de difficultés pour traverser la colonne, autrement dit sans que la soufflerie placée à la suite de la colonne absorbe une énergie exagérée. Il pourrait également arriver que les fragments de briques ne retiennent pas suffisamment la boue, et que cette dernière ne s'écoule à travers les fragments entassés, avant que son séchage ne soit terminé; il y a en outre à craindre que la grille qui forme la partie inférieure de la paroi de la colonne ne soit engorgée rapidement par les poussières que contiennent toujours les gaz brûlés. Ces diverses circonstances ne créent toutefois aucune difficulté insurmontable; on peut par exemple modifier la dimension des fragments de briques et par suite leur capacité de retenue pour la boue, et l'on n'est pas absolument contraint d'employer des fragments de briques, on peut avoir recours à des corps métalliques de forme appropriée, ou à du clinker de ciment. On n'est pas non plus lié à la disposition en colonne, et l'on pourrait également utiliser d'autres dispositions connues.

L'emploi d'installations mécaniques de dessiccation pour le séchage préliminaire de la boue crue est une question déjà effleurée ci-dessus. Il semble que les plus anciennes tentatives de ce genre ont été faites par Ritter-Zahony, à la fabrique de ciment Portland de Weissenegg, en Haute Styrie (Autriche); ces essais avaient déjà été faits avec succès avant la guerre, et, par la suite, on leur a donné l'appellation de procédé sec à boue épaissie. On opérait comme suit: la boue était déshydratée dans des filtres-presses jusqu'à 15% de teneur en eau, et ensuite enfournée dans un four rotatif ordinaire. Avant enfournement, on ne fragmentait le gâteau de boue que dans une mesure restreinte, et on constatait que cette méthode combattait efficacement le dégagement de poussières dans le four; pendant leur trajet dans le four, la plus grande partie des fragments conservaient leur forme primitive, et les autres restaient au moins à l'état de grumeaux. La température de 420° qu'avaient les gaz brûlés à la sortie du four de 30 m de longueur montre que ce procédé ne présente plus qu'un faible intérêt aujourd'hui.

La figure 9 (page 1363), donne la disposition schématique de l'installation, avec de légères modifications. Le poste de filtrage est monté au dessus de la tête du four; de là, le gâteau de boue contenant de 15 à 20% d'eau arrive dans une presse à filer, dont la bouche traverse obliquement la tête du four, et par laquelle la boue arrive directement dans le four rotatif. La matière ainsi filée se casse à la sortie de la bouche en tronçons de faible longueur, et s'enfoune

sous forme de morceaux de la grosseur du poing. L'emploi d'une presse à filer a pour objet de donner aux morceaux une plus grande cohérence, et approximativement la même grosseur, ce qui rend le produit fini plus régulier, et s'oppose au dégagement de poussières, même si la matière a une forte tendance à se mettre sous forme de grumeaux.

Malheureusement, par la suite, on s'est rendu compte que le procédé sec à boue épaissie ne convenait qu'à un nombre restreint de matières premières; la déshydratation mécanique au moyen de filtres-presses ou par d'autres installations ne réussit jamais si l'eau se trouve à l'état colloïdal dans la matière crue, ce qui est du reste généralement le cas. On n'a pu par suite appliquer le procédé en Allemagne, et il en est de même dans la plupart des pays. Disons toutefois qu'on a pu l'appliquer avec succès dans certains cas, par exemple dans une installation toute récente, faite à la Arkansas Portland Cement Co., dans l'Arkansas (E.-U.). On y opère sur une matière première contenant 50% d'eau, et la déshydratation par filtrage ramène cette teneur à 28-29%. Comme avec cette humidité la matière a encore une certaine plasticité, et qu'il y a lieu de craindre qu'elle ne s'agglomère dans le four, on a adapté à l'extrémité haute du four des pièces tranchantes en saillie. Ces pièces sont des courtes tôles radiales, d'environ 30 cm de hauteur, dont le rôle est, en outre, de désagréger la matière agglomérée, et de l'éloigner de l'entrée du four; dans ce but, les pièces sont montées en hélice. L'équipement comporte dès à présent un four rotatif d'environ 90 m de longueur et 3 m 50 de diamètre, et on se propose de lui adjoindre deux autres unités semblables.

Cette dernière installation travaille en outre avec un four rotatif ouvert, et son bilan thermique n'est par suite pas particulièrement favorable, de sorte qu'elle ne correspond pas à l'état actuel de la technique. Dans les installations où la boue est transformée avant enfournement en gâteau compact, il est tout indiqué d'employer un des nouveaux fours imaginés pour le procédé sec, et qui utilisent la chaleur des gaz brûlés jusqu'à près de 100°, par exemple un four Lellep. Il se peut naturellement que dans cette installation de l'Arkansas il y ait des raisons qui justifient, au point de vue économique, l'emploi d'un four rotatif simple, malgré sa mauvaise utilisation du combustible. Si par exemple on dispose d'un combustible très bon marché (gaz naturel), il devient inutile de chercher à utiliser parfaitement le combustible, et il ne faut pas oublier qu'un four de 90 m de longueur est d'un prix fort élevé.

La proposition a déjà été faite, lorsqu'il existait une installation de filtrage pour l'épaississement préliminaire de la boue, de combiner une grille mécanique avec un four rotatif; la figure 10 (page 1364) représente schématiquement une telle installation. La matière crue traverse d'abord un filtre, et arrive dans un tambour, où le gâteau se transforme par le roulement en petites boulettes. Quand, à la sortie du filtre, la matière est encore un peu humide, on peut lui incorporer de la farine sèche, dont une petite quantité suffit, et que l'on peut prélever d'une chambre à poussières installée immédiatement à la sortie du four rotatif, de sorte que l'installation ne nécessite pas de broyeur spécial pour la préparation de la farine sèche. La matière est ensuite déposée sur une grille mécanique, et arrive finalement par un dévaloir dans le four rotatif. Comme il a déjà été dit, plus haut, les filtres ne se prêtent que rarement au traitement de la boue à ciment, sans ces installations constitueraient une solution idéale pour la cuisson de cette boue.

Pour terminer, mentionnons encore deux procédés, ayant pour objet d'opérer d'une manière très simple la dessiccation préalable de la boue. Dans le premier, on fait arriver dans une vis mélangeuse le clinker chaud, sans qu'il soit passé

par un refroidisseur, ainsi que la boue humide; la chaleur du clinker cuit sert ainsi à vaporiser l'eau de la boue. Quand l'échange de chaleur a eu lieu, on sépare les deux substances dans une installation de tamisage appropriée; s'il restait des fragments de clinker dans la boue épaissie, la chose est sans importance, car la qualité du produit fini n'est modifiée en rien si ces fragments subissent une double cuisson. La boue qui adhère éventuellement au clinker présente plus d'inconvénients; après tamisage, on passe le clinker à la lance, et l'eau recueillie peut servir à la préparation de la boue.

Le calcul montre que, dans le cas le plus favorable, la chaleur du clinker ne peut vaporiser qu'une fraction de l'eau que contient la boue; abstraction faite de cette considération, dans les nouvelles installations de fours rotatifs, on utilise généralement la chaleur cédée par le clinker au chauffage préalable de l'air de combustion, et l'emploi de cette chaleur pour épaissir la boue ne constitue par suite pas un bénéfice net, car il ne s'agit pas d'une source de chaleur qui se perd par la cheminée comme celle des gaz brûlés. Le chauffage préalable de l'air de combustion présente en outre d'autres avantages; le combustible s'enflamme plus rapidement, et la température de la chambre de combustion est plus élevée. En utilisant la chaleur du clinker pour épaissir la boue, on est obligé de renoncer à tous ces avantages, et ce procédé n'a pas pu s'introduire dans la pratique.

On a enfin encore proposé de transformer la boue en une matière grumeleuse par l'incorporation de farine crue sèche. La question dans ce cas est le but que l'on se propose d'atteindre; si la boue, contenant comme d'habitude 40% d'eau, doit être ramenée à une teneur de 20%, on est amené à préparer par voie sèche approximativement les deux tiers des matières premières, de sorte que l'on perd tous les avantages de la préparation par voie humide, et que cette méthode se trouve éliminée dès l'abord. On peut toutefois se baser sur ce que, dans le procédé sec, et en employant un four rotatif ordinaire, la température des gaz à la sortie du four atteint 800° environ, tandis qu'avec le procédé humide, elle est voisine de 400°; en outre, le procédé humide consomme bien plus de combustible. On a pu proposer ainsi de n'incorporer à la boue qu'une petite quantité de farine sèche, correspondant à la quantité de boue dont on aurait vaporisé l'eau avec une chute de température de 800° à 400°. On admettait que la boue épaissie dans ces conditions permettrait de ramener également la température des gaz brûlés à 400°, ce qui ne se réalise nullement. Avec une longueur de four et une production données, la température des gaz brûlés ne dépend plus que de la teneur en eau de la matière crue. L'addition d'une quantité, même faible, de farine sèche, présente cet inconvénient de nécessiter à la fois deux installations de préparation, une par voie humide, et une par voie sèche, sans compter que la qualité du produit fini se ressent de l'addition de cette faible quantité de matières préparée par voie sèche. Ce qui est rédhibitoire, ce n'est pas tant que les matières préparées par voie sèche soient de qualité inférieure de ce chef, c'est que l'on n'arrive pas à former avec les deux masses un mélange intime. Les inconvénients du procédé sont donc plus grands que ses avantages.

Les considérations qui précèdent ont pour but de montrer que l'objet de toutes ces recherches est de mettre au point un procédé pratique et d'un prix de revient abordable, pour opérer la cuisson du ciment en partant de la boue comme matière première, ce procédé devant, en outre, avoir un bilan thermique semblable à celui que donne la cuisson dans les divers procédés secs les plus récents. On s'est également proposé de montrer que, sauf dans certains cas spéciaux d'importance purement locale, ce but n'a pas encore été atteint; on peut cependant dire que certaines tentatives ont déjà donné des résultats partiels.

Les progrès relatifs au ciment, pendant l'année 1930.—III.

par OTTO FR. HONUS.

SELON les recherches de H. Richarz⁵¹, la résistance à la traction du ciment Portland additionné de trass est tantôt supérieure, tantôt inférieure à celle du ciment Portland. L'amélioration coïncide généralement avec l'emploi de sable normal, elle est imputable au fait que les pores sont mieux remplis, grâce au trass finement moulu. La résistance à la traction est généralement inférieure à celle du ciment Portland correspondant. Le trass exerce une influence excellente, si on l'incorpore, lors de la mouture, aux clinkers particulièrement riches en chaux.

A. A. Bado⁵² a étudié l'influence de la pouzzolane, incorporée (30-50%) au ciment Portland, et a constaté dans un cas que cette addition exerçait une influence nuisible.

Désagrégation.—Th. Merriman⁵³ a assimilé l'extraction de la chaux du ciment par lessivage au moyen d'une liqueur sucrée à sa désagrégation par les sulfates en solution. Pour que les conditions soient les mêmes qu'au début de l'attaque par le sulfate en solution, il faut ajouter au préalable une certaine quantité de chaux à la liqueur sucrée. En dosant la chaux au moyen de méthylorange, on obtient des valeurs plus élevées qu'avec la phénolphtaléine, car on dose conjointement la chaux combinée à SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 . Cette différence correspond d'ailleurs à l'intensité de l'attaque chimique dont les ciments sont l'objet, et il est par suite proposé d'en faire état. La durabilité est fonction de la teneur en alumine; les preuves en ont été fournies par 32 ciments.

Innovations concernant la construction des fours.

Les S. A. Krupp-Grusonwerke⁵⁴ proposent de fabriquer le ciment fondu dans un four spécial, comportant une ou plusieurs colonnes de matières, que l'on désagrège sur la sole inclinée d'une chambre de combustion; on chauffe la section ainsi pratiquée dans la colonne au moyen d'une flamme, et les gaz brûlés sont acheminés sur les parties de la chambre de combustion se trouvant en dehors de la zone principale de la flamme, après quoi ils traversent les parois de la chambre pour arriver à la colonne qui contient la charge, et continuer par la colonne elle-même. L'installation comporte un tour vertical à un ou plusieurs secteurs, la chambre de combustion se trouvant entre ces derniers; à la partie inférieure, les secteurs débouchent dans la chambre de combustion. Cette innovation a pour but d'empêcher la concrétion des matières à la surface de la charge. St. Kohut⁵⁵ propose d'opérer la cuisson du ciment fondu dans deux fours accouplés, avec dispositif inverseur intercalé; dans le premier four, le mélange cru subit un chauffage préliminaire par les gaz brûlés du deuxième four, où a lieu la fusion. Pour empêcher que la masse ne se ramollisse au chauffage préliminaire, on refroidit les gaz brûlés au moyen des gaz perdus du four de chauffage préliminaire, de vapeur d'eau, etc. La S. A. des Chaux et Ciments de Lafarge et du Teil (France) propose d'adjoindre plusieurs fours à réverbère⁵⁶ au dispositif d'amenée chauffé conformément au brevet principal⁵⁷ par les gaz brûlés ayant servi pour le ciment fondu; le mélange à

⁵¹ "Zement," Vol. 19, p. 144, 1930.

⁵² An. Asoc. Quim. Argentina, Vol. 17, p. 216.

⁵³ Eng. News-Record, Vol. 104, p. 62, 1930.

⁵⁴ Brevet allemand 490758.

⁵⁵ Brevets français 685027 et 576859.

⁵⁶ Brevet français 36403.

⁵⁷ Brevet français 571329 (1924).

ciment subit sa fusion dans ces fours à réverbère. En collaboration avec la Sté d'Electro-chimie, d'Electro-métallurgie, et des Acieries Electriques d'Ugine⁹⁰, la société précitée opère la cuisson du ciment en introduisant par le haut le mélange des matières crues dans un four disposé verticalement, ce four étant chauffé à partir d'un foyer monté latéralement par des gaz combustibles qui assurent ainsi le chauffage préliminaire des matières, et la combustion du charbon qu'elles contiennent. L'extrémité inférieure de ce four vertical débouche dans un four électrique horizontal, dans lequel s'opère la scorification et la cuisson des matières dépourvues de leur charbon. Pour obtenir des produits réguliers, tant par leur résistance élevée que par leur composition, E. Moyat⁹¹ propose de refouler pneumatiquement dans une chambre de réaction les matières premières finement pulvérisées conjointement avec le combustible, le mélange cru étant porté à son point de fusion par la flamme que produit la combustion. Les matières en fusion se déposent sur un cylindre en révolution; la croûte qui se forme est râclée et moulue de la manière habituelle. Selon G. Polysius⁹², on opère la fusion du ciment dans une chambre d'attente, formée côté sortie du four rotatif par une section élargie, où les matières parviennent avant ramollissement, entrent en fusion, et sont l'objet d'une forte agitation; dans cette chambre d'attente, on ajoute éventuellement des fondants. A. Bues⁹³, de Berlin, obtient des ciments réguliers et bien cuits au four vertical, en injectant pneumatiquement la boue crue par une tuyère dirigée de haut en bas; le combustible et l'air sont insufflés à la partie inférieure par une tuyère dirigée de bas en haut.

R. D. Pike⁹⁴ présente une communication sur la cuisson en deux opérations du clinker de ciment Portland; il décrit plusieurs installations, où l'expulsion de l'acide carbonique et de l'eau (calcination) est opérée au four vertical, et la clinkérisation dans un four rotatif adjacent. Il existe trois dispositions: (1) Four vertical combiné au four rotatif; (2) Deux fours verticaux, reliés chacun à un four rotatif, les gaz du four rotatif passant ensuite par le four vertical; (3) La même disposition, sauf que la chaleur en excédent est utilisée dans une chaudière, et qu'une fabrique de potasse était annexée; des trois dispositions, la dernière est la plus économique. A. Nilson⁹⁵ (Norvège), a fait breveter un four rotatif, dont la charge occupe plus de la moitié de la section.

En opérant au four à étages, à compartiments, annulaire ou autre du même genre, W. Schroeder⁹⁶, de Berlin, obtient de l'acide phosphorique et du ciment en partant de phosphorites, de bauxite, et de charbon. Pour obtenir du ciment fondu au four rotatif, A. Andreas⁹⁷ installe à la limite des zones de désacidification et de fusion un diaphragme annulaire coulissant. Dans le même but, la S. A. Vereinigte Ziegel- und Cement Fabrik⁹⁸ (Briquetteries et Cimenteries réunies), de Budapest, se sert d'un four à étages et d'un four à réverbère branché à la suite de la zone de fusion du four vertical, ayant chacun un équipement de chauffage automatique, tandis que le carneau des gaz brûlés est commun.

Dans le four rotatif de J. S. Fasting⁹⁹, de Copenhague, l'extrémité côté sortie des matières est entourée d'une couronne de cylindres refroidisseurs, qui se

⁹⁰ Brevet français 683037.

⁹¹ Brevet allemand 511521.

⁹² Brevet autrichien 118717.

⁹³ Brevet allemand 505285.

⁹⁴ Ind. Eng. Chem., Vol. 22, p. 148, 1930.

⁹⁵ Brevet allemand 490799.

⁹⁶ Brevet allemand 490803.

⁹⁷ Brevet allemand 490759.

⁹⁸ Brevet allemand 490759.

⁹⁹ Brevet allemand 498505.

prolongent au delà de l'extrémité du four. La paroi du tambour du four est pourvue d'orifices de sortie pour les matières, faisant office de grilles, et reliés par des tronçons aux cylindres refroidisseurs.

Le four vertical de A. Ch. Davis¹⁰⁰, de Londres, appartient à la catégorie de fours dans lesquels les matières sont injectées pneumatiquement de bas en haut, pour retomber à l'état de nuage.

Divers.

A. Weissmann¹⁰¹, après avoir ajouté en enfournant à la farine crue à ciment des poussières captées, a établi que ces poussières sortaient du four avec le clinker sans s'y être véritablement incorporées; il propose par suite d'incorporer les poussières captées au mélange en préparant ce dernier. Les investigations de P. P. Budnikow, G. W. Kukolew, et W. M. Leschojew¹⁰² ont porté sur l'influence des fluidificateurs sur le degré de réduction des matières premières du ciment, traitées au broyeur humide; des constatations faites, il résulte que la fluidité de la boue diluée dépend dans une large mesure des agents fluidifiants ajoutés. Comme agent fluidifiant, il a été employé 0,04 de liqueur sodique normale et une solution de mélasse à 0,1%, comptées sur le poids de la boue. En présence d'agents fluidifiants, la mouture était beaucoup plus fine; les granules plus petites que 0 mm. 01 représentaient 70% de la masse, contre 58,5% en l'absence d'agents fluidifiants. La mélasse de sucre, la soude, le silicate de Na, et NaOH, grâce à leurs propriétés peptiques, augmentent la fluidité dans une telle mesure qu'à viscosité égale, on peut ramener la teneur en eau de 48 à 42%, d'où économie de combustible de 8,3%¹⁰³.

K. Bichl¹⁰⁴ montre que parmi les divers produits d'addition employés pour augmenter la fluidité du ciment Portland, la lessive sulfitée exerce une action fluidifiante particulièrement importante sur les boues épaisses. Pour obtenir de la chaux ou des boues à ciment d'une teneur plus faible en eau, H. Vierheller¹⁰⁵ ajoute à l'eau de gâchage en petite quantité des déchets ou des eaux usées, contenant des substances d'origine animale ou végétale, décomposées, pourries, ou fermentées. Une boue crue à ciment, contenant 36,5% d'eau après addition d'une lessive cellulosique, avait la même fluidité que lorsqu'elle contenait 41,5% d'eau.

Selon G. Bohm et D. Steiner¹⁰⁶, trente fabriques américaines, produisant le ciment par le procédé humide, pratiquent le filtrage. Les boues avec lesquelles le filtrage donne de bons résultats sont celles qui se déposent rapidement. Dans le procédé sec, on opère avec 5-10% d'eau, dans le procédé à pâte épaisse avec 34-42% d'eau, et dans le procédé par filtrage, avec 17-23% d'eau. La boue doit avoir une composition régulière, et n'être pas trop diluée; si l'on pratique le filtrage, il y a intérêt à augmenter la température. Selon les calculs de C. H. Sonntag¹⁰⁷, il est plus économique de pratiquer le filtrage de la boue crue avant cuisson que d'expulser l'eau au four rotatif.

Rissel¹⁰⁸ donne des renseignements sur les équipements de réglage automatique de la température. A. B. Helbig¹⁰⁹ est d'avis que le ciment moulu avec séparation par l'air est inférieur à celui obtenu au tube broyeur.

¹⁰⁰ Brevet allemand 498406.

¹⁰¹ "Tonind. Ztg.," Vol. 54, p. 563, 1930.

¹⁰² "Zement," Vol. 19, p. 563, 1930.

¹⁰³ "Kolloid. Ztschr.," Vol. 52, p. 341-48, 1930.

¹⁰⁴ "Tonind. Ztg.," Vol. 54, p. 396-97, 1930.

¹⁰⁵ Brevet allemand 577573.

¹⁰⁶ "Zement," Vol. 19, p. 768, 1930.

¹⁰⁷ Ibid., p. 302-4, 1930.

¹⁰⁸ Ibid., n. 217, 1930.

¹⁰⁹ Ibid., p. 237-39, 1930.

Narendra Nath Mul' erjee Road
P. o. Bally, Dist. Howrah (W. B.)

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

DIE INTERNATIONALE ZEMENTZEITSCHRIFT IN VIER SPRACHEN.

DEUTSCHER TEIL

Ein Schlammringansatz von 15 m Länge in einem Drehofen von 63 m. Länge

von O. FREY.

RINGANSÄTZE in der Sinterzone u. der Entsaureungszone des Rotierofens sind keine Seltenheit. Der zur Behandlung liegende Fall hat specielles Interesse, einmal wegen der Seltenheit, in der er auftritt, dann auch mit Rücksicht auf die Begleiterscheinungen, unter denen er entsteht.

Zur richtigen Beurteilung der Gesamtlage, die diese Ringbildung entstehen liess, will ich alle jene Unterlagen anführen, die irgendwie an der Bildung dieses grossen Ansatzringes beteiligt waren.

Die durchschnittliche Zusammensetzung der beiden Factorenverhältnisse des hydraulischen Modules und des Silikatmodules waren folgende:

SiO ₂	...	...	...	...	...	...	14.18
R ₂ O ₃	...	...	...	...	...	...	3.95
CaO	...	...	...	...	...	...	43.69
	Hydraulischer Modul.				Silikat-Modul.		
	2.41				3.50		

Die Verhältnisse standen also mit Bezug auf die Eigenschaften des Rohmehles nicht innert normalen Grenzen, namentlich nicht mit Bezug auf die Höhe des Silikatmodules mit 3.50. Das Rohmehl war als directe Folge dieses hohen Verhältnisses sehr hoch sinterbar und war die Sintertemperatur verschiedentlich mit 1529-1530 Grad C. bestimmt worden.

Der Schlamm, der aus den Rohmaterialien erzeugt wurde, war von ganz normaler Beschaffenheit mit ca. 7-8% Rückstand auf dem 4900 Siebe, 36% Wasser u. ca. 1670 Gramm Litergewicht.

Diese hohe Sintertemperatur in Verbindung mit der sehr schweren Aufschliessbarkeit der Rohmasse mögen die secundären Veranlasser gewesen sein, unter deren Einfluss weitere Begleiterscheinungen dann diese Ansatzbildung entstehen liessen.

Der korrespondierende Zement hatte die folgende Zusammensetzung:

SiO ₂	...	...	...	...	...	...	19.62
R ₂ O ₃	...	...	...	...	...	...	7.60
CaO	...	...	...	...	...	...	64.50
MgO	...	...	...	...	...	...	1.80
SO ₃	...	...	...	...	...	...	1.70
CO ₂ + H ₂ O	...	...	...	...	...	...	4.00
Alk. R.	...	...	...	...	...	...	0.88
Sil. Mod.	...	...	...	...	...	...	2.58
Hyd. Mod.	...	...	...	...	...	...	2.37

Der Zement steht demnach mit seinem hydr. Modul von 2.37 unmittelbar unter der Treibergrenze. Wir sehen daher dass wir es mit einem Erzeugnis zu tun haben, das an der obersten Grenze des Zulässigen steht, soweit natürlich die Erzeugung gewöhnlicher Zemente erster Qualität in Frage kommt.

Als weiteres Bindeglied zum Verständnis des chemischen Geschehens in der Erzeugung dieses Ansatzringes bietet sich uns die Eigenschaften und Zusammensetzung der Ofenkohlenasche. Verwendet wurde eine Flammkohle und eine Halbfettkohle. Die Asche dieser Kohlen hatte folgende Zusammensetzung:

	Fettkohle.			Halbfettkohle.		
SiO ₂	42.80	45.55	
R ₂ O ₃	38.50	44.50	
CaO	7.00	5.00	
MgO	4.68	1.80	
SO ₃	4.25	2.55	
Alk. Rest	2.77	0.60	
CaSO ₄	7.22	4.33	

Sehen wir also, dass wir es mit einer verhältnismässig sehr stark gipshaltigen Asche zu tun haben, wobei die Fettkohle doppelt so reichlich damit versehen ist wie die anthracitische Halbfettkohle.

Die aus der Halbfettkohle und der Fettkohle zusammengestellte Ofenkohle hatte dann die nachfolgend angegebenen Resultate.

SiO ₂	...	...	...	...	...	...	44.15
R ₂ O ₃	...	...	...	...	...	...	40.00
CaO	...	...	...	...	...	...	5.61
MgO	...	...	...	...	...	...	3.00
SO ₃	...	...	...	...	...	...	4.15
Rest Alk.	...	...	...	...	...	...	3.09
Gehalt an CaSO ₄	...	...	...	...	...	...	7.05

Dieser Gehalt an CaSO₄ in der Ofenkohlenasche war nun die directe Ursache zur Bildung dieses überaus grossen Ansatzringes von über 15 m. Länge.

Zur besseren Verständlichkeit soll nachstehend die Lage des Ansatzringes in einer Skizze (Abb. 1, Seite 1344; 1, Flammenrichtung; 2, Ansatzring; 3, anrollendes Ofengut; 4, Ketten) veranschaulicht werden. Es ist notwendig zum Verstehen der Flammeneinwirkung im Ofen mit Bezug auf die Stellung dieser zu dem anrollenden Ofengute.

Interessant ist nun selbstverständlich die Zusammensetzung dieses abnormal grossen Ringansatzes. Zu diesem Zwecke wurden an vier Stellen desselben Probe gezogen und zwar ganz am Anfange, in der Mitte und am Ende des Ringes. Die Untersuchung ergab folgende Resultate.

			Probe Vorn.	Probe Mitte (1).	Probe Mitte (2).	Probe Ende.
SiO ₂	..	..	23.60	23.40	23.60	19.00
R ₂ O ₃	..	..	7.50	5.50	7.30	7.00
CaO	..	..	60.00	44.25	44.60	40.00
MgO	..	..	1.70	1.80	1.70	2.10
SO ₃	..	..	4.59	20.74	20.06	28.90
CO ₂ +H ₂ O	..	..	0.40	0.70	0.20	0.20
R. Alk.	..	..	2.21	3.61	2.54	2.80
Gips	..	..	7.62	35.26	34.00	49.13

Ueberprüfen wir die vorliegenden Resultate bezw. den Verlauf des darin festgelegten Gipsgehaltes (CaSO₄) so fällt die rapide Steigerung im Gipsgehalte fein auf, eine Steigerung, die anschwillt bis zum Ende des Ansatzes. Die Knickung im Verlaufe der Kurve bei der dritten Probeentnahme scheint der natürlichen Entwicklung dabei nicht Rechnung zu tragen. Es scheint dass hier ein kleiner Fehler mitunterlaufen ist, dessen Nachkontrolle nicht mehr möglich war, da der Ring inzwischen entfernt worden war in der Zeit, da diese Untersuchungen liefen. Es übereinstimmt dies mit der Tatsache, dass der Gehalt der Brenngase mit zunehmender Tiefe des Ofens reicher an schwefliger Säure und Gips werden (in diesem Falle).

In Anbetracht der sehr hohen Temperaturen im Rotierofen musste der Gips in der Kohlenasche als feiner flüssiger Sprühregen auf dem anrollenden Ofengut sich angesetzt und dieses zum Ankleben gebracht haben. Der ganze Verlauf hat sich natürlich in längerer Zeit abgewickelt und dieser langen Dauer der Einwirkung gelang diese sehr starke Ringbildung. Ob bei den hohen in Frage kommenden Temperaturen der Gips beim Durchtritt durch die Sinterhitze des Ofens dissociert wurde, ganz oder teilweise, oder in anbetracht der sehr kurzen Zeitspanne, die der Durchtritt benötigt, und dissociert zur Einwirkung gelangte, sind Fragen secundärer Natur deren Beantwortung an der Tatsache nichts ändern können. Bekanntlich liegt die Dissociationsgrenze für den Gips bei ca. 1400 Grad C. eine Temperatur, die im Ofen weit überschritten wird. Die nötige Temperatur zu einer solchen teilweisen Dissociation war also reichlich vorhanden, wenn die Zeitspanne vom Austritt aus der Flamme bis zum Aufprall am Ringe zeitlich zur Einleitung dieser Reaction überhaupt genügte.

Fassen wir die Gehalte an Kieselsäure und Sesquioxiden bei den Untersuchungen des Gipsrings ins Auge, so können wir eine nur ganz schwache Anteilnahme der übrigen Bestandteile der Asche feststellen.

RINGBILDUNG IN DER SINTERZONE. Analyse.

SiO ₂	..	..	20.00
R ₂ O ₃	..	..	10.00
CaO	..	..	48.00
MgO	..	..	1.40
SO ₃	..	..	Spur
CO ₂ +H ₂ O	..	..	0.60
Rest Alk.	..	..	2.00

Die Ursache dieser Ansatzbildung in der Sinterzone, war die Einflussnahme der ganzen Kohlenasche, wobei zufolge der scharfen Einwirkung der Gebläseflamme sämtlicher Gips dissociert wurde. Der Ansatz wurde tatsächlich völlig schwefelsäurefrei. Interessant zwecks Ueberschauung dieser verschiedenen Vorgänge dürfte nun eine Gegenüberstellung sein, die nachfolgend geboten wird:

				Gipsansatz		Reiner
				Ende.	Klinkerringansatz.	Zement.
SiO ₂	..	..	..	19.00	29.00	19.76
R ₂ O ₃	..	..	..	7.00	19.00	7.17
CaO	..	..	..	40.00	48.00	67.33
MgO	..	..	..	2.10	1.40	2.22
SO ₃..	..	..	..	28.90	Spur	2.19
CO ₂ +H ₂ O..	..	..	..	0.20	0.60	—
Rest Alk.	..	..	..	2.80	2.00	1.33

Zum Schlusse des Artikels muss noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass der Ofen mit künstlicher Ventilation betrieben wurde. Die durch das Gebläse bewirkte Verlängerung der Flamme zu einer langgestreckten Stichflamme mag das Seinige dazu beigetragen haben, dass tiefer im Ofen günstige Verhältnisse zu dieser immerhin seltenen Gipskrustenbildung geschaffen worden sind. Weiter ist noch zu bemerken, was gleichfalls aufklärend wirken dürfte, dass der Ofen betrieb mit erheblichem Luftüberschuss arbeitet, der durch die Betriebsverhältnisse bedingt ist.

Die Abwehr solcher den Betrieb selbstverständlich stark storenden Ansätze lässt sich nur umgehen durch Eliminierung der Grundursache, die in diesem Falle darin besteht, dass die Kohle gewechselt wird unter Beschaffung solchen Brennstoffes, der in der Asche keine Sulfate enthält.

Der Einfluss von Gips auf die Raumbeständigkeit kalkreicher Klinker.

von DR.-ING. O. GOFFIN und G. MUSSGUG.¹

Es ist allgemein bekannt, dass man beim Portlandzementklinker durch kleine Hilfsmittel (Wasserbenetzung, feinere Mahlung des Klinkers) und durch Zusatz von treibfreien Stoffen, wie Hochotenschlacke, Trass, Si-Stoff u.a.m., und durch Zusatz von Chemikalien, in der Verbesserung der Raumbeständigkeit gewisse Effekte erzielen kann. Inwieweit aber der Gips die Raumbeständigkeit des Klinkers beeinflusst, hierüber liegt in der Fachliteratur und im Schrifttum verhältnismässig wenig Zahlenmaterial vor.

Erdmenger² hat zwar schon vor Jahrzehnten festgestellt, dass hochtonige (also kalkarme), zum Treihen neigende Zemente durch Gips treibfrei werden, nicht aber normale (also kalkhöhere) Zemente. Von Tippmann³ und Kühl⁴ würde in den Beiträgen zum Erhärtungsproblem des Portlandzementes diese Frage neuerdings ebenfalls kurz gestreift. Offenbar sind in dieser Richtung bis jetzt keine grösseren systematischen Versuche durchgeführt worden. Für solche Versuche bestand insofern kein praktisches Bedürfnis, als durch die Normen der Gipszusatz mit 3 v.H. begrenzt ist.

Das merkwürdige Verhalten verschiedener hochhalkiger Betriebs- und Versuchsklinker, veranlasste uns u.a. auch den Einfluss von Gips auf die Raumbeständigkeit des Portlandzementklinkers näher zu prüfen.

Guttman und Gille⁵ geben für die Berechnung des max. Kalkgehaltes im Klinker folgende Formel an:

¹ Bericht, erstattet in der 12. „Techn. Ausschussitzung des Vereins deutscher Eisenportlandzement-Werke D'dorf," 17.4.31.

² Wecke, „Handbuch der Zementliteratur," S. 380.

³ „Zement," 1930, S. 1234.

⁴ „Zement," 1931, S. 239.

⁵ „Zement," 1929, Nr. 16/18.

$$\frac{1,07 \text{ CaO} - [0,38 (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mn}_2\text{O}_3) + 1,76 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,75 \text{ SO}_3]}{\text{SiO}_2} \leq 3$$

und nehmen diesen Quotienten den „Kalkmodul.“

Nach Kuhl⁶ wird der höchstmögliche Kalkgehalt im Klinker durch folgende Formel ermittelt:

$$\frac{\text{CaO}}{2,8 \text{ SiO}_2 + 1,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,70 \text{ Fe}_2\text{O}_3 (+0,71 \text{ Mn}_2\text{O}_3)} \leq 1$$

und dieser Quotient als „Kalksättigungsgrad“ bezeichnet

Die Kuhl'sche Formel ist für unsere manganhaltigen Klinker durch die Klammer erweitert worden, denn das Mangan ist im Portlandzementklinker nicht als Fremdkörper vorhanden, wie man es früher vielfach angenommen hat. In seiner Affinität zum Kalk ist das Mangan dem Eisen zum mindesten gleichwertig, was durch unsere langjährigen Betriebserfahrungen mit manganhaltigen Rohmischungen, ferner durch Grossversuche im Drehofen,—Mn₂O₃-Gehalt bis 8%—erwiesen, und durch die Arbeit von Guttmann und Gille über „das Mangan im Zementklinker“ bestätigt ist. In der Industrie der hydraulischen Bindemittel aus Hochofenschlacke, wo das Rohmehl fast ausschliesslich unter Verwendung von sulfidhaltiger Hochofenschlacke gewonnen wird, verdient für genauere Berechnungen die Formel von Guttmann und Gille den Vorzug, da sie den SO₃-Gehalt, der u. U. bis 1,5% im Klinker betragen kann, berücksichtigt.

In unserem Werkslaboratorium wurde schon vor längerer Zeit festgestellt, dass verschiedene manganhaltige Klinker die angegebenen Grenzwerte für den Kalkgehalt, Kalkmodul von 3, bzw. Kalksättigungsgrad von 1 erreichen oder überschreiten können, ohne dass bei den allgemein gebräuchlichen Raumbeständigkeitsproben Ireiben beobachtet werden konnte. Diese Tatsache war insofern merkwürdig, als die von Guttmann und Kuhl angegebenen Werte ideale Grenzzahlen darstellen, die im praktischen Betrieb ohne Ireibgefahr nicht erreicht werden können.

Zwar werden erfahrungsgemäss flussmittelreiche Rohmischungen—hierunter gehören natuigemäss auch solche mit höherem Mangangehalt—beim Brennprozess leichter und weitergehend aufgeschlossen als flussmittelarme Rohmischungen oder solche, bei denen der gesamte Kalk als Karbonat vorliegt, wie bei den Rohmehlen aus natürlichen Rohstoffen. Infolgedessen kann bei den ersteren der Kalkgehalt näher an der theoretischen Freibgrenze liegen als bei flussmittelarmen und karbonatreichen Rohmehlen. Diese Tatsache allein konnte jedoch kaum die Ursache dafür sein, dass bei einzelnen Versuchs- und Betriebsklinkern die praktische Freibgrenze über der theoretischen liegen konnte, ohne dass Darr- und Kochproben Treiberscheinungen zeigten. Wir haben versucht, für diese merkwürdige Tatsache, dass nämlich manganhaltige Klinker die von Guttmann und Kuhl angegebenen max. Werte um ein geringes überschreiten können, eine Erklärung zu finden.

Bei den zur Klärung dieser Frage angestellten Versuchen wurde gefunden, dass die Ergebnisse der Raumbeständigkeitsprüfung von der Menge des zugemahlten Gipses abhängen. Zur näheren Feststellung dieses Einflusses, wurden verschiedene Betriebs- und Versuchsklinker mit wechselndem Kalkgehalt und verschiedenem Gipszusatz auf der Laboratoriums-Mühle unter gleichen Bedingungen vermahlen.

Bei diesen Versuchen wurde gefunden, dass alle Klinker, die einen Kalkmodul über 3 und einen Kalksättigungsgrad von 1, bzw. über 1 hatten, tatsächlich

⁶ „Tonindustrie-Zeitung“, 1930, S. 389.
 „Zement“, 1930, Nr. 16/18.

ZAHLENTAFEL I.

Siebrück- stände		Abbinde- zeit.		Raumbeständigkeit						Festigkeit n. Tegen.						
				Kugel- glühpr.	Pr. Pr. Darrpr.	Gipspl. Darrpr.	(glas- Kuch. Darrpr.	Kochpr.	Normen Wasserpr.	Luft- probe.	Zug.					
											Wasserzusatz %.						Druck.
900	4900	Anf.	Ende.	21	16	25	25	25	25	1	3	7	28W.	28.b.		
0,1	1,0	0,04	0,08	best.	best.	best.	best.	best.	best.	—	—	—	—	—		
0,1	0,4	2,20	5,00	best.	best.	best.	best.	best.	best.	22,2	30,5	32,1	33,5	48,5		
0,1	1,5	2,00	4,50	best.	best.	best.	best.	best.	best.	25,9	33,7	30,5	31,5	47,3		
0,1	1,2	2,20	4,40	best.	best.	best.	best.	best.	best.	31,7	37,4	35,2	35,2	49,8		
0,1	0,6	2,30	4,50	best.	best.	best.	best.	best.	best.	31,2	33,6	38,0	38,0	51,6		
0,1	0,4	2,30	5,00	best.	best.	best.	best.	best.	best.	25,6	35,2	35,7	36,1	49,5		
0,1	0,4	2,30	5,10	best.	best.	best.	best.	best.	best.	24,2	32,1	36,2	37,8	52,8		

Wasserzusatz für die Abbindeproben : 25%.

Mischungsverhältnis für Zug- und Druckproben :

1 Gewichtsteil Zement—3 Gewichtsteile Normalsand.

Wasserzusatz beim Einschlagen : 8%.

Verhalten des Klinkers 1 mit verschiedenen Gipszusätzen, Kalkmodul 2.96.

ZAHLENTAFEL 2.

Siebrück- stände		Abbinde- zeit.	Raumbeständigkeit.					*	Festigkeit n. Tagen.											
			Kugel- glühpr.	Pr. Pr. Darpr.	Gipspl. Darpr.	Glas- Kuch. Darpr.	Kochpr.		Normen Wasserpr.	Luft. probe.	Zug.					Druck.				
			Wasserrusatz %.																	
900		Anf.	Ende.	21	16	25	25	25	25	25	1	3	7	28W.	28cb.	1	3	7	28W	28cb.
0.1	1.8	0.15	2.20	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	best.	22.0	26.2	25.4	25.7	45.5	183	268	401	411	536
0.1	3.7	2.15	5.05	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	best.	24.4	26.7	26.8	28.6	46.6	276	372	441	508	611
0.1	1.9	2.05	5.00	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	best.	27.5	28.6	25.7	28.9	44.3	244	346	423	485	601
0.1	0.7	1.55	4.40	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	best.	33.8	26.7	27.5	28.3	49.6	317	397	451	528	647
0.1	0.6	2.10	4.30	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	best.	33.4	28.3	26.6	29.2	46.3	333	447	521	580	722
0.1	0.8	2.10	4.40	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	best.	27.4	30.8	30.6	31.3	51.2	292	476	474	605	702
0.1	0.6	2.20	5.10	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	best.	24.3	23.0	29.4	30.9	53.5	246	422	546	615	731

Wasserzusatz für die Abbindeproben : 25%.

Mischungsverhältnis für Zug- und Druckproben:

1 Gewichtsteil Zement—3 Gewichtsteile Normalsand

Wasserzusatz beim Einschlagen: 8%.

Verhalten des Klinkers 2 bei verschiedenen Gipszusätzen, Kalkmodul 3.19.

starke Treiberscheinungen zeigen, sofern sie *ohne* Gips oder mit geringem Gipszusatz (im allgemeinen bis 2%) vermahlen werden. Vermahlt man jedoch diese Klinker mit 3 und mehr Prozent Gips, so findet bei den allgemein gebräuchlichen Raumbeständigkeitsproben (Koch- und Darrproben) ein Treiben nicht mehr statt. Wir haben daher diese hochkalkigen Klinker den anderen in Deutschland gebräuchlichen Raumbeständigkeitsprüfungen unterworfen um festzustellen, ob sich der Einfluss des Gipses auch bei diesen Prüfungen bemerkbar macht.

Die Raumbeständigkeitsprüfungen der verschiedenen Klinker wurden folgendermaßen vorgenommen: Bei der Heintzel'schen Kugelglühprobe und der Prüssing'schen Presskuchendarrprobe wurden die Prüfkörper in der üblichen Weise hergestellt und sofort danach auf einer heissen Eisenplatte bei ca. 300, bzw. 160° geprüft.

Bei der Gipsplattendarrprobe, auch Schnelldarrprobe genannt, wurde der Zementbrei auf eine wasseraufsaugende Unterlage (Gipsplatte mit Fliesspapier) gebracht und nach ca. einer halben Stunde auf eine heisse Eisenplatte von ca. 100-120° gelegt.

Die Glaskuchendarrprobe und die Normenkochprobe wurden, den Vorschriften entsprechend, erst nach 24 Stunden geprüft.

Auf die Chatelierprobe wurde verzichtet, weil sich diese umständliche Prüfung in Deutschland nicht eingeführt hat und weil die Ergebnisse der Chatelierprobe im allgemeinen annähernd denen der Kochprobe entsprechen.

Die Ergebnisse der verschiedenen Raumbeständigkeitsprüfungen lassen sich dahin zusammenfassen, dass bei sehr kalkreichen und hochgeigipsten Klinkern die H. Kugelglühprobe und die Pr.Pr.-Darrprobe in der angewandten Prüfungsweise geeignet sind, um selbst ein leichtes für die Praxis unbedenkliches, für wissenschaftliche Untersuchungen aber wissenschaftliches Kalktreiben nachzuweisen. Die grössere Empfindlichkeit dieser beiden Prüfungen ist höchstwahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass der Zement vor dem Abbinden, also unter völlig anormalen Verhältnissen auf Raumbeständigkeit geprüft wird, während bei der Koch- und Darrprobe die Prüfung erst nach erfolgtem Abbinden—frühestens nach 24 Stunden—erfolgt, also erst dann, wenn der Prüfkörper eine gewisse Festigkeit erlangt hat. Hierauf hat auch Kühl^a schon hingewiesen. Für die Bedürfnisse der Baupraxis sind daher sowohl die Pr.Pr.-Darrprobe, als auch die H. Kugelglühprobe zu scharf, worauf in der Literatur schon oft hingewiesen wurde^b.

Von den zahlreichen Versuchsreihen, die zur Klärung des Einflusses von Gips auf die Raumbeständigkeit hochkalkiger Klinker durchgeführt wurden, und bei denen immer wieder dieselbe Wirkung des Gipses beobachtet werden konnte, sind die Prüfungsergebnisse von 2 typischen Klinkern in Zahlentafel 1 und 2 zusammengestellt.

Die Klinker hatten folgende Moduln:

		Klinker 1.	Klinker 2.
Silikatmodul	.. ..	1.68	1.73
Eisen + Manganmodul	.. ..	1.83	1.69
Hydraul. Modul	... ..	2.22	2.37
Kalkmodul	.. ..	2.96	3.19
Kalksättigungsgrad	... ..	0.99	1.05

Der Vollständigkeit sind in den Zahlentafeln neben den Ergebnissen der Raumbeständigkeitsprüfung auch die Siebrückstände, Abbindezeiten und

^a „Zement“, 1931, S. 239.

^b Kühl, „Zement- und Mörteltechnische Studien“, S. 75; Schoch, „Mörtelbindstoffe“, IV. Auflage S. 730; „Tonindustriezeitung“, 1925, S. 939, 1066 u. 1067.

Festigkeiten des Klinkers mit den verschiedenen Gipszusätzen aufgeführt. Zur besseren Veranschaulichung sind ferner die Ergebnisse der verschiedenen beschleunigten Raumbeständigkeitsproben der beiden Klinker bildlich wiedergegeben (Abb 1 u. 2, Seite 1345/1346). Ausserdem sind ihre Festigkeiten in Abhängigkeit vom Gipszusatz graphisch aufgetragen (Abb 3, Seite 1348). Als Folge des höheren Kalkgehaltes zeigen mit 0 und 1% Gips sämtliche beschleunigten Raumbeständigkeitsproben 7 T starke Treiberscheinungen. Mit 3 und 4% Gips wird bereits die Kochprobe, wenn auch nicht völlig einwandfrei, bestanden, während die beiden Darrproben noch eine geringe auf dem Bilde nicht mehr sichtbare Treibneigung erkennen lassen. Mit 5 und 6% Gips werden Koch- und Darrproben einwandfrei bestanden. Man sieht, dass mit steigendem Gipszusatz das Treiben bei Koch- und Darrproben abnimmt, bzw. völlig verschwindet. Die Pr Pr -Kuchen-Darrprobe und die H Kugelgluhprobe zeigen dagegen auch nach höheren Gipszusätzen noch erkennbares Treiben.

Zahlentafel 1 zeigt das Verhalten des Klinkers 1. Bemerkenswert ist, dass die Abbindezeit auch mit höherem Gipszusatz praktisch gleich bleibt, dass ferner entsprechend der guten Raumbeständigkeit die Zugfestigkeiten bei Wasserlageung hoch bleiben.

Auch bei Klinker 2 (Tafel 2) bleibt die Abbindezeit bei höherem Gipszusatz praktisch gleich. Bei allen Raumbeständigkeitsproben treten durch Erhöhung des Gipszusatzes die Treiberscheinungen etwas zurück, weniger bei der H Kugelgluhprobe und Pr Pr Darrprobe, mehr bei den Koch- und Darrproben (s. Anmerkung Bild 2).

Wie aus den zur Prüfung des Einflusses von Gips auf die Raumbeständigkeit angestellten Versuchen hervorgegangen ist, ist es möglich, durch höheren Gipszusatz eine gewisse Verbesserung der Raumbeständigkeit des Klinkers zu erzielen. Da jedoch die Normenvorschriften den Zusatz von fremden Beimischungen mit 3 v H begrenzen, haben diese Versuche mehr theoretischen als praktischen Wert.

Ob sich dieser Einfluss des Gipses auch bei Klinkern mit anderer chemischer Zusammensetzung — beispielsweise bei solchen mit abnorm niedrigem Tonerdegehalt — und mit anderer Malfinheit in gleichem Masse bemerkbar macht, bleibt durch weitere Versuche noch zu klären.

Wir haben ferner festzustellen versucht, ob bereits blosses Verdünnen des Klinkers mit einem indifferenten Stoff genügt, um eine Verbesserung der Raumbeständigkeit zu erreichen. Es ergab sich bei diesen Versuchen, bei welchen als Verdünnungsmittel in dem einen Fall feinstgemahlener Kalkstein, in dem anderen Sand (bis zu 6%) verwandt wurde, dass dadurch kein nennenswerter Einfluss auf die Raumbeständigkeit des Klinkers ausgeübt wird. Anhydrit dagegen hatte dieselbe Wirkung wie Gips.

Zusammenfassung.

Von allen Raumbeständigkeitsproben ist die Heintzel'sche Kugelgluhprobe neben der Prussing'schen Presskuchendarrprobe die empfindlichste Probe, um im reinen Klinker etwaiges Kalktreiben nachzuweisen.

Eine geringe Treibneigung des Klinkers wird bereits durch einen innerhalb der Normengrenze liegenden Gipszusatz beseitigt, so dass treibfreie Zemente entstehen.

Die von Guttmann und Kuhl angegebenen Grenzwerte für den Kalkgehalt von 3, bzw. 1 können auch bei günstigen Rohstoffen und günstigen betrieblichen Voraussetzungen nicht ohne Treibgefahr überschritten werden, sind also tatsächlich als Grenzwerte anzusehen.

Modifizierung der physikalischen Zement-eigenschaften durch Karbonisierung.*

von F. L. BRADY

(Mitteilung aus der „Building Research Station.“)

Im Rahmen eines Forschungsprogramms über die Eigenschaften von Betonwaren, das in der „Building Research Station“ für die Cast Concrete Products Association Gross-Britanniens ausgeführt wird, ist eine Prüfung des Prozesses atmosphärischer Karbonisierung vorgenommen worden. In der Zementliteratur finden sich viele Stellen, die sich auf die Wirkung des Prozesses atmosphärischer Karbonisierung auf die chemischen Eigenschaften von Zement beziehen, doch ist bisher den physikalischen Änderungen, welche den Karbonisierungsprozess begleiten, wenig Beachtung geschenkt worden.

Auf den ersten Blick könnte man denken, dass die Karbonisierung nur unbedeutende Änderungen in den physikalischen Zementeigenschaften hervorrufen dürfte, da offenbar die Umwandlung kristallinen Kalziumhydroxyds in Kalziumkarbonat nur mit einer geringen Volumenänderung verknüpft ist. Der best fundierte Wert für die Dichte von reinem pulverisiertem Kalziumhydroxyd ist der von P. Joyce und P. Demont¹, —2,239 mg per ccm—, gelieferte, der mit dem Wert von Lamy², —2,236-2,239 mg per ccm—, übereinstimmt, sich aber merklich von dem von Filhol³, 2,078 mg per ccm, unterscheidet. Die Beobachtungen von F. W. Ashton und R. Wilson⁴, die einen 2,20 mg per ccm angenäherten Wert vermuten, sind eine weitere Bestätigung der Werte von Joyce und Demont.

J. W. Mellor („Anorganische und theoretische Chemie“) zitiert eine Anzahl von Bestimmungen der Dichte von Kalzit (CaCO_3). Danach haben wir:

C. J. B. Karsten	..	..	2,6946 mg per ccm
V. Goldschmidt	...	...	2,713-2,735 mg per ccm
E. Madelung und R. Fuchs	...	..	2,7067-2,7121 mg per ccm
J. Johnstone	...	...	2,71 mg per ccm
L. Bourgeois (künstl. Kalzit)	.	.	2,71 mg per ccm.

Wir werden nicht weit von den richtigen Werten sein, wenn wir 2,24 mg per ccm für die Dichte von kristallinem Kalziumhydroxyd und 2,71 mg per ccm für die Dichte von Kalzit annehmen.

Wenn wir jetzt per Einheitsvolumen eines 1:3 gemischten Portlandzement-Sandmörtels eine Dichte von 2,2 mg per ccm, um einen mittleren Wert zu wählen, annehmen, so werden roh gerechnet nach Gewichtsteilen 11% aus Wasser, 22% aus Zement und 67% aus Sand bestehen. Wenn wir annehmen, dass der hydratisierte Zement 10% freien Kalk (Mittelwert) oder 13,2% Ca(OH)_2 enthält, so erhalten wir per 1 ccm Mörtel:

$$\frac{0,22 \times 13,2 \text{ mg}}{100} \text{ Ca(OH)}_2 = 0,029 \text{ mg Ca(OH)}_2.$$

Dieses Gewicht des freien Kalks wird im kristallinen Zustande ein Volumen von

$$\frac{0,029 \text{ ccm}}{2,24} = 0,00129 \text{ ccm}$$

besitzen, das bei der Karbonisierung umgewandelt wird in

$$0,029 \times \frac{100}{74} \times \frac{1}{2,71} \text{ ccm Kalzit} = 0,0145 \text{ ccm Kalzit.}^*$$

* Copyright des Staates vorbehalten.

Es wird daher eine Volumenvermehrung der Probe um
 $0,0145 - 0,0129 \text{ ccm} = 0,0016 \text{ ccm}$
 stattfinden, was einer linearen Expansion von

$$\frac{0,0016}{3} \text{ cm} = 0,00053 \text{ cm}$$

oder 0,053% entspricht.

Wir sollten also bei dem Karbonisierungsprozess eine lineare Expansion in der Grösse von 0,05% erwarten, wenn wir annehmen, dass dieser Prozess darin besteht, dass frei kristallisiertes Kalziumhydroxyd in Kalzit umgewandelt wird. Die tatsächlich bei den Versuchen der „Building Research Station“ beobachtete Wirkung war indessen eine Schwindung, und wir folgern daher, dass die gegebene Beschreibung des Mechanismus des Karbonisierungsprozesses entweder ungenau oder unvollständig ist.

In erster Linie ist es einigermaßen zweifelhaft, ob der freie Kalk im Portlandzement in kristalliner Form vorhanden ist. Die Beobachtungen von F. F. Tippmann⁵ zu dieser Frage sind nicht als absolut zwingend anzusehen. Wenn ein Teil des freien Kalks in Gelform anwesend ist, trifft der Schluss nicht zu.

Es gibt aber noch eine weitere wichtige Wirkung, die berücksichtigt werden muss. Analysen von Betonproben, die dem Wetter ausgesetzt waren, zeigen, dass die Karbonisierung des Zements nicht mit der Umwandlung des freien Kalks in Kalziumkarbonat aufhört, dass Zementgel vielmehr teilweise zerlegt wird. Wir haben daher den Effekt, dass während der Karbonisierung in die Masse des hydratisierten Zementgels ein Teil des Kalziumkarbonats eingeführt wird. Die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass Kalziumkarbonat in Form von 5-10 μ langen Kristallen anwesend ist, das heisst von einer Grössenordnung, die nicht durch die charakteristischen kolloiden Eigenschaften begleitet ist. Derjenige Volumenteil einer Mörtel- oder Betonprobe, der durch das, was wir „Zementgel“ nennen, ausgefüllt ist, wobei wir diesen Ausdruck wählen, um die Gesamtheit der offenbar strukturlosen Grundmasse zu beschreiben, wird somit durch den Karbonisierungsprozess vermindert. Es dürfte als Resultat dieser Änderung zu erwarten sein, dass die physikalischen Eigenschaften des Zements, —Längenänderung infolge wechselnden Feuchtigkeitsgehalts, Durchlässigkeit, Porosität, Festigkeit, Elastizitätsmodul—, ebenfalls geändert werden dürften.

In der Literatur finden sich nur sehr wenige Beobachtungen über die, die Karbonisierung begleitenden physikalischen Wirkungen. H. Passow⁶ prüfte die Einwirkung von Kohlensäure auf verschiedene Mörtel. Er fand, dass der Einfluss von Kohlensäure auf Zementmörtel sich in einem mehr oder minder grossen Temperaturanstieg, der stets mit Abspaltung von Wasser verknüpft war, manifestierte. Bei Versuchen über die Wirkung auf den Abbindeprozess stellte er fest, dass Kohlensäure dann den markantesten Einfluss ausübte, wenn die Probekörper eine gewisse Wassermenge verloren und einen bestimmten Trocknungsgrad erreicht hatten. Der Einfluss auf abgeordneten Zement hing von dem Alter des Probekörpers ab und war um so grösser, je höher der Kalkgehalt des Zements war. Passow berichtete auch, dass ein poröser Mörtel durch die Einwirkung von Kohlensäure weich wurde, dass dagegen ein dichter Mörtel an Festigkeit gewann. Es äusserte die Ansicht, dass während der Einwirkung der Kohlensäure der Hydratationsprozess gefördert werde. Mit Bezug auf den Einfluss der Karbonisierung auf die Festigkeit haben G. Natta und C. G. Fontana⁷ die gleiche Meinung zum Ausdruck gebracht.

† Urteil nach mikroskopischer Prüfung.

J. Bied⁸ prüfte die Wirkung der Karbonisierung auf das Schwinden von Zementbrei, der auf Zinkplatten aufgetragen war. Zemente, die in Kohlensäure bei gesättigtem Wasserdampf gelagert waren, wiesen kein Schwinden auf, bis man sie in der Luft trocknen liess. Sie schwanden, wenn sie an die Luft gebracht wurden, wenn auch nicht in gleichem Masse wie gewöhnlicher, nicht karbonisierter Mörtel. Zwei Proben eines rapidbindenden Zements zeigten bei Lagerung in Kohlensäure Schwinderscheinungen, dehnten sich jedoch an der Luft wieder aus. Bied nahm an, dass diese ausdehnende Wirkung möglicherweise auf der Gegenwart von freiem Kalk beruhe. Im allgemeinen wird der Schluss gezogen, dass das Exponieren in einer Kohlensäureatmosphäre in merklicher Weise das Schwinden vermindert. Es gibt für diese Wirkung keine Erklärung. Die Beobachtungen über den Einfluss von Kohlensäure auf das Schwinden von Zement sind durch die vorliegende Arbeit nicht bestätigt worden.

H. W. Gonell⁹ prüfte die Wirkung der Lagerung von Raumbeständigkeitskuchen in Kohlensäure, wobei der Zement mit Zuckerlösung angemacht worden war. Er beobachtete ebenso wie Passow, dass Kuchen, die während der Erhärtung in einer Kohlensäureatmosphäre lagerten, ausgesprochenes „Schwitzen“ (Austreibung von Wasserperlen an der Oberfläche) aufwiesen. „Dieses“ erklärt er „rührt von der Zerlegung des ursprünglich gebildeten Gels durch Kohlensäure auf der Aussenschicht her, woraus die Abspaltung von Wasser, das im Gel enthalten ist, resultiert.“ Goslich und Hart¹⁰ entdeckten bei der Druckfestigkeitsprobe eines 10 Jahre alten Probekörpers, dass eine Schicht von etwa 8 mm Stärke rundherum abplatzte. Es stellte sich heraus, dass diese Schicht diejenige war, die durch Kohlensäure beeinflusst worden war.

Frühere Beobachtungen über die physikalischen Einwirkungen der Karbonisierung sind daher unvollständig und nicht schlussig, obwohl von Zeit zu Zeit Berichte veröffentlicht worden sind, welche wertvolle Schlüsse über die Natur der physikalischen Einflüsse lieferten, die aber unglücklicherweise nicht weiter verfolgt worden sind. Annahmen über die wahrscheinlichen Einwirkungen der Karbonisierung, die auf theoretischen Gründen basieren, können nicht zu einem bestimmten Ergebnis führen, da eine grosse Zahl von Werten, auf denen ein solcher Entwurf basieren sollte, fehlt. Es bleibt daher nur übrig, die Einwirkung mittels Experiments zu prüfen.

Man wird erwarten können, dass die Einflüsse der Karbonisierung von einem Wechsel in der Gelstruktur des Zements herrühren. Die Kenntnis des Ausmasses und der Natur der hervorgerufenen Aenderungen kann daher durch die Prüfung des Einflusses der Karbonisierung auf jene Eigenschaft untersucht werden, die für Zemente der deutlichste Beweis des kolloiden Charakters des Materials ist. Das heisst Prüfung auf „Feuchtigkeitsbewegungen“ oder Längenänderung, die durch Wechsel des Feuchtigkeitsgehalts hervorgerufen ist. Entsprechende Versuche sind über das Schwinden von Zementmörtelprismen, die in kohlenstofffreier Luft und in Kohlensäure lagerten, vorgenommen worden. Für eine Arbeit dieser Art ist es erwünscht, den Mörtel teilweise, wie Passow (*loc. cit.*) feststellte, zu trocknen, um schnelle Reaktion der Kohlensäure zu erhalten. Die für diese Reaktion passenden Bedingungen sind im Verlaufe einiger anderer Untersuchungen auf der „Building Research Station“ ausgearbeitet worden.

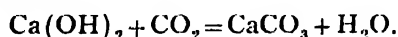
Die geprüften Prismenkörper von $14 \times 3,2 \times 0,6$ cm Grösse waren aus 1:3 Zementsandmörtel, der zu plastischer Konsistenz angemacht war. Die Versuche wurden unternommen, wenn die Probekörper 10 Tage alt waren. Die Ergebnisse sind in Tabelle I zusammengestellt.

TABELLE I.—AUSDEHNUNG UND SCHWINDEN VON ZEMENTMÖRTELN, IN LUFT UND KOHLENSÄURE GELAGERT.

Zeit	%—Längenänderung					
	Portlandzement		hochwertiger Portlandzement		Tonerdezement	
	Luft	CO ₂	Luft	CO ₂	Luft	CO ₂
1 Stunde	—	+0,010	—	+0,005	—	+0,003
1 Tag	—0,0022	—0,037	—0,0015	—0,041	—0,0007	—0,011
2 Tage	—0,0040	—0,051	—0,0023	—0,064	—0,0011	—0,019
4 „	—0,0050	—0,060	—0,0037	—0,075	—0,0018	—0,025
8 „	—0,0064	—0,065	—0,0050	—0,081	0,0022	—0,034
16 „	—0,0076	—0,071	—0,0070	—0,086	—	—
32 „	—	—	—	—	—	—

Bei Betrachtung der Werte für einen Tag und darüber erkennt man für jeden Zement eine markante Schwindung bei Lagerung in Kohlensäure. Die Luftlagerung erzeugt eine leichte Schwindung infolge weiteren Trocknens der teilweise getrockneten Probekörper. Da sämtliche Proben in einer Atmosphäre gleichen Feuchtigkeitsgehalts gelagert waren, kann die Differenz nicht auf einem Unterschiede äusserlicher Feuchtigkeitsbedingungen beruhen, und der Unterschied im Schwinden bei Kohlensäure und Luft zeigt die Einwirkung der Kohlensäure. Gleichzeitig mit den Längenänderungsmessungen wurden Messungen der Gewichtsveränderungen der Probekörper vorgenommen. Sie zeigten einen geringfügigen Gewichtsverlust bei Luftlagerung infolge Austrocknens und eine markante Gewichtszunahme bei den in Kohlensäure gelagerten Probekörpern.

Die beiden Portlandzemente zeigten eine geringe Ausdehnung, wenn sie zuerst der Kohlensäure exponiert wurden. Gleichzeitig findet ein ausgesprochener Temperaturanstieg statt, doch ist die Ausdehnung nicht allein hiervon die Ursache. Messungen des Temperaturwechsels eines Probekörpers zeigten, dass die durch den Temperaturanstieg erzeugte thermische Ausdehnung nur die Grössenordnung von 1/40 der beobachteten Längenausdehnung betragen würde. Die wahre Ursache wird wahrscheinlich durch die chemische Gleichung aufgezeigt, welche die Wirkung der Kohlensäure auf den freien Kalk in den Probekörpern repräsentiert:



Für jedes absorbierte Kohlensäuremolekül wird ein Molekül Wasser frei. Dieses Wasser geht entweder in das Restgel über, oder es wird teilweise bzw. vollständig verdampft, was (a) von dem Mass der Kohlensäureabsorption, (b) der Dichte des Probekörpers und (c) den äusseren Trocknungsbedingungen abhängt. Erst, wenn dieses Wasser entfernt ist, und der Probekörper ein Gleichgewichtsverhältnis mit Bezug auf den äusseren Dampfdruck des Wassers erreicht hat, wird sich die Wirkung der Karbonisierung als solche manifestieren. Wenn tatsächlich Probekörper aus Zementmörtel der Einwirkung von Kohlensäure ausgesetzt werden, kann man entweder Schwinden oder Expansion oder keine Längenänderung beobachten. Nur bei rigoroser Kontrolle der Feuchtigkeit zeigt sich die echte Einwirkung der Karbonisierung, und es wird in allen bis jetzt geprüften Fällen eine markante Schwindung beobachtet.

Die vorliegende Arbeit befindet sich bis jetzt nur in einem Vorbereitungsstadium, doch kann man wohl behaupten, dass genug getan wurde, um zu zeigen, dass durch den Prozess atmosphärischer Karbonisierung ausge-

sprochene physikalische Wirkungen erzeugt werden, von denen eine in einer markanten Schwindung besteht. Die Bedeutung dieser in Verbindung mit Fehlern wie Rissen, die an der Oberfläche von Beton auftreten, der der Atmosphäre ausgesetzt ist, bedarf keiner weiteren Erwähnung. Wir glauben auch die Notwendigkeit der Beachtung der Zusammensetzung der Luft beim Lagern von Zementprobekörpern, die zu Beobachtungen von Trocknungsschwinderscheinungen benutzt wurden, nachgewiesen zu haben, besonders aber, wenn die Probekörper kleine Grösse besitzen und die Beobachtungen auf lange Zeiträume ausgedehnt wurden.

Vorher wurde in dieser Abhandlung festgestellt, dass die Einwirkung der Karbonisierung darin besteht, das durch das hydratisierte Zementgel eingenommene Gesamtvolumen eines Zementprobekörpers zu reduzieren. Aus den Versuchen mit Tonerdezement, der nur eine Spur von freiem Kalk enthält, wie auch aus anderen hier nicht berichteten Werten geht deutlich hervor, dass nicht nur der freie Kalk karbonisiert wird, sondern dass auch eine Zerlegung des Zementhydrats erfolgt. Somit wird nicht nur das Gelvolumen verändert, sondern die chemische Zusammensetzung des Restes wird auch geändert. Das nach vollständiger Karbonisierung verbleibende Gel ist reicher an Kieselsäure wie Tonerde und ärmer an Kalk. Es kann tatsächlich teilweise aus Kieselsäure- und Tonerdegel bestehen. Dieses in der chemischen Zusammensetzung zweifellos vom normalen Zementgel verschiedene Gel kann auch in seinen Feuchtigkeitsbewegungen differieren. Dieses muss noch geprüft werden. Es ist klar, dass wir dann an der Oberfläche von Beton, der der Atmosphäre ausgesetzt ist, ein völlig verschiedenes Material gegenüber der darunter liegenden Betonmasse haben. Die Eigenschaften des karbonisierten Materials müssen noch vollständig bestimmt werden.

Wir hoffen später einen ausführlicheren Bericht der Forschungen über die Einflüsse von Kohlensäure auf die physikalischen Eigenschaften von Zement zu veröffentlichen.

LITERATUR.

¹ Joyce, P., und Demont, P.—"Das spezifische Gewicht von Kalziumhydroxyd und die von dieser Substanz beim Schwinden von Portlandzement gespielte Rolle."—*Journ. Chim. physique*, 1929, 26, 317.

² Lamy, A.—*Ann. Chim. Phys.*, 1878, 14, 145.

³ Filhol, E.—*Ann. Chim. Phys.*, 1845, 7, 271.

⁴ Ashton, F. W., und Wilson, R.—"Die Herstellung und die optischen Eigenschaften von Kalziumhydroxydkristallen."—*Amer. Journ. Science*, 1927, 13, 209.

⁵ Tippmann, F. F.—"Einige Beobachtungen über Kalziumhydroxyd und seine Funktionen beim Erhärtungsprozess von Portlandzement."—*Kolloid-Ztschr.*, 1931, 55, 85.

⁶ Passow, H.—"Die Einwirkung von Kohlendioxyd auf Zementmörtel."—*Prot. V.D.P.C.F.*, 1896, 19, 128.

⁷ Natta, G., und Fontana, G. G.—"Schwindung von porösen Betonen."—*Giorn. Chim. ind. appl.*, 1931, 13, 173.

⁸ Bied, J.—"Industrielle Untersuchungen über Kalk, Zement und Mörtel."—Seite 227 ff., Verlag, Dunois, Paris.

⁹ Gonell, H. W.—"Der Einfluss von Zucker auf das Abbinden und Erhärten von Portlandzement."—*Zement*, 1929, 18, 372, 437, 472.

¹⁰ Goslich und Hart.—"Der Einfluss von Kohlendioxyd auf das Erhärten von Portlandement."—*Zement*, 1923, 12, 262-264.

Die Theorie der Zementbildung.

von RUDOLF ZOLLINGER.

Wir bezeichnen den Zement als ein hydraulisches Bindemittel. Die Hydraulizität ist bedingt durch einen Gehalt an freiem Kalk. Freier Kalk entsteht im Zement durch Abbau der mit CaO übersättigten Silikate und Aluminate bei Zusatz von Wasser. Es ist also Kalkabbau nur möglich, wo an Kalk übersättigte Verbindungen vorliegen.

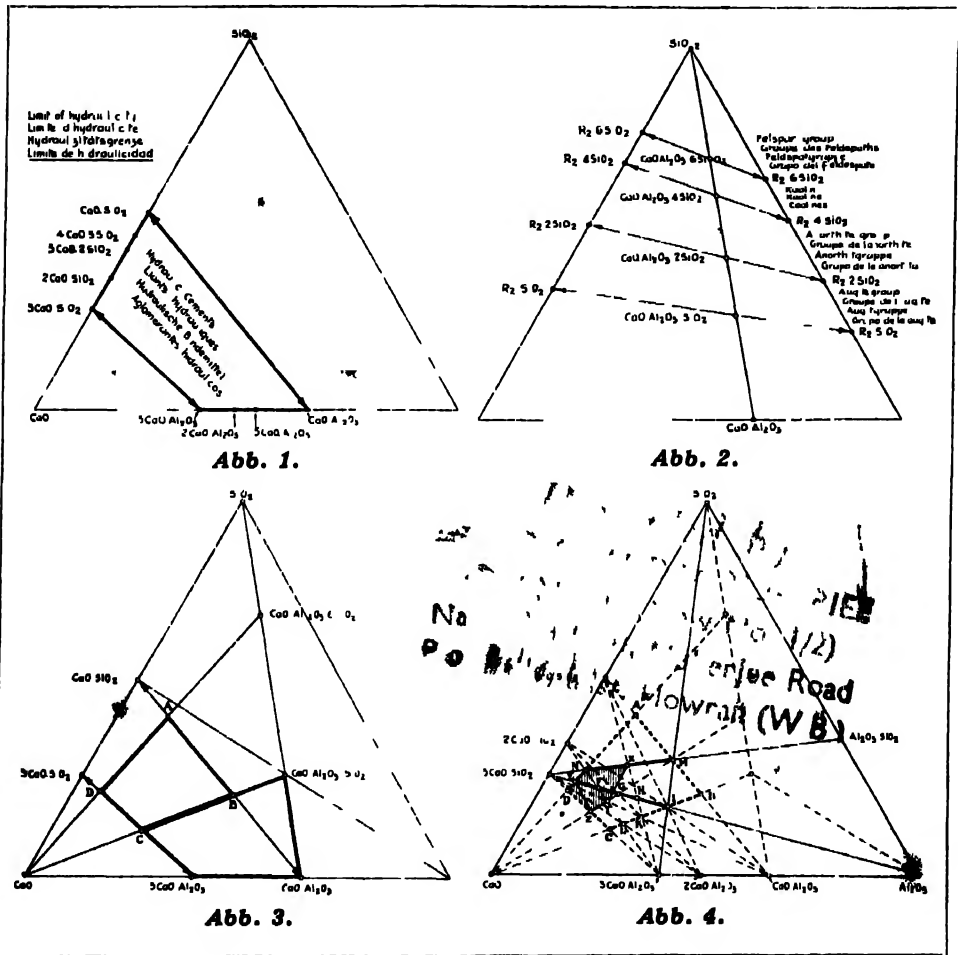
Betrachten wir zunächst die Verbindungen der SiO_2 mit CaO. Wir bezeichnen als an CaO übersättigt die Verbindungen $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$, und $4\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$. Diese 4 Verbindungen haben das Bestreben CaO abzugeben und sich in die stabile Form $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ umzuwandeln. Bei den Verbindungen der Al_2O_3 mit CaO müssen wir als an CaO übersättigt ansehen die Verbindungen $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, und $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$. Diese 3 letzteren Verbindungen haben das Bestreben sich unter CaO Abspaltung in die stabile Form $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ zu verwandeln. Die CaO Silikate im Zement werden also innerhalb des Intervalles $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ — $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ zu suchen sein. Ebenso sind die CaO Aluminate im Zement in dem Intervall $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ — $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ zu suchen.

Wir haben es im Zement aber nicht mit reinen Silikaten und, von dem Grenzfall des theoretisch reinsten Tonerdezementes abgesehen, auch nicht mit reinen Aluminaten zu tun. In allen Fällen liegen vielmehr Mischkristalle aus Silikaten + Aluminaten vor. Überwiegen die Silikate, so reden wir von Portlandzementen. Bei Überwiegen der Aluminate sind wir gewohnt von Tonerdezementen zu sprechen. Auf jeden Fall werden wir die Zemente im 3-Stoffdiagramm innerhalb der Gleichgewichtslinien $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \longleftrightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ und $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \longleftrightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ zu suchen haben. In Abb. 1 (Seite 1424) ist dieses Gebiet hervorgehoben. Stellt die Linie $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \longleftrightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ die höchsterreichbare Übersättigungsgrenze dar, d.h. die Lage der hydraulisch besten Zemente, so sehen wir in der Linie $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \longleftrightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ die Lage der Zemente, denen hydraulische Eigenschaften nicht mehr eigen sein können, weil jede CaO Übersättigung aufgehört hat und sich das Gleichgewichtssystem in seine stabile Form umgewandelt befindet. Über diese letztere Linie hinaus wird CaO Abspaltung nur noch schwierig sein, d.h. nur noch unter Überwindung grosser innerer Widerstände. Praktisch brauchbare Zemente werden sich also nur in den Gebieten der an CaO höher übersättigten Verbindungen finden, wie später noch zu zeigen sein wird.

Als Rohmaterialien der Zementherstellung verwenden wir allgemein gesprochen Kalksteine und Tone, resp. Substanzen die ev. bereits eine natürliche Mischung beider sind, wie die Mergel z.B. Die Zementherstellung in der Technik läuft darauf hinaus, dass man die Natursilikate mit CaO aufschliesst. Es genügt zu diesem Aufschluss der relativ schwache Kalk, da die Silikate in den Tonen an SiO_2 übersättigt sind, sich also verhältnismässig leicht dazu bequem, ihren SiO_2 Überschuss abzugeben. Die Zementherstellung baut also die Tone, also an SiO_2 übersättigte Verbindungen durch CaO nicht nur ab, sondern erzeugt ein nunmehr an CaO übersättigtes Produkt, also ebenfalls eine instabile Form und macht von dieser den Tonen konträren Instabilität Gebrauch, indem sie die Abbauenergie dieser wiederum übersättigten Verbindungen als Hydraulizität gewinnt.

Als Kalklieferanten fungieren die verschiedensten Gesteinsarten aus der Klasse der Sedimentärgesteine. Ihnen allen gemein ist das Mineral Calcit, chemisch gesprochen $\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$. Aus diesem treiben wir im Brennprozess die

CO_2 aus (Calcination) und den freien CaO zum eigentlichen Aufschluss freizubekommen. Liegt das Calcit haltige Gestein in poröser Form vor, so sprechen wir von Tuffsteinen, auch Duckstein, Kalktuff oder Travertin genannt. Die dicht kompakte Form bezeichnen wir als Kalksteine, während wir bei erdiger Modifikation von Kreide sprechen. Noch erwähnt mögen Wiesenkalk und die Korallenkalke sein, sowie der Marmor, welchen wir zur Zementfabrikation allerdings kaum verwenden, seiner Härte wegen, die allzu hohe Mahlkosten verursacht.



Sind die Kalkgesteine immerhin verhältnismässig einfach aufgebaut, so kompliziert sich die Zusammensetzung der Tone. Die Tone sind Tonerde Silikate + CaO oder Alkali Silikate, also Mischkristalle, derart dass die SiO_2 immer an mindestens 2 Basen gebunden ist. Wollen wir die Tone im 3-Stoffdiagramm ausdrücken, so Müssen wir die eventuel vorhandenen Alkali oder Magnesia Silikate als Kalksilikate umrechnen und Fe_2O_3 resp. andere vorhandenen Metalloxyde als Tonerdesilikate. Wir können dieses theoretisch rechtfertigen, da die Wirkung der Alkalien oder der Magnesia dem Kalk, die Wirkungen der Metalloxyde der Tonerde identisch sich beim Zementaufschluss erweisen.

Zeichnen wir nun, wie in Abb. 2 (Seite 1424) dargestellt, uns die möglichen CaO Silikate auf der SiO_2 —CaO Ordinate ein und die Tonerde Silikate in der gleichen Weise auf der SiO_2 — Al_2O_3 Ordinate. Die Verbindungslinien wesensgleicher Typen geben uns dann die Gleichgewichte in den Mischkristallen, um die es sich bei den Tonen wie gesagt handelt. Schneiden wir diese Gleichgewichtslinien durch die Gleichgewichtslinie $\text{SiO}_2 \longleftrightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, welche ja die Basis dieser Verbindungen bedeutet, so erhalten wir entsprechend in den Schnittpunkten die molekularen Mischkristalle, wie wir sie in der Natur in den Mineralien vorfinden, aus denen sich die Tone zusammensetzen. Natürlich sind ausser den aus Abb. 2 hervorgehenden 4 Vertretertypen noch gegenseitige Mischungen vorhanden, die aber an dem Bild nichts ändern, es lediglich unübersichtlich gestalten würden. Wir haben also die 4 folgenden Typen von Mineralien zu unterscheiden und in Rechnung zu ziehen:

(1) $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, also das Hexasilikat. Im Ton wird es vertreten durch die Reihe der Feldspate.

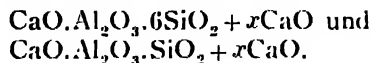
(2) $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$, also das Tetrasilikat. Vertreten ist es im Ton durch den Kaolin.

(3) $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, also das Bisilikat. Bekannt ist es in den Tonen als Mineral Anorthit, Kalkfeldspat.

(4) $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, also das Singulosilikat. Wir kennen es in der Natur in den Mineralien der Augit und Hornblendereihe.

Halten wir uns vor Augen, dass die an SiO_2 übersättigsten Mineralien das Bestreben haben sich abzubauen zu dem Endglied entsprechend der Formel R_2SiO_2 , so können wir für den Aufschluss voraussagen, dass die Feldspate am leichtesten reagieren werden und die Augite überhaupt nicht. Über das Hexasilikat hinaus haben wir es nicht mehr mit Mineralien zu tun. Tone die chemisch einen höheren Gehalt an SiO_2 aufweisen, sind demnach als Mischungen mit freier SiO_2 , also mit Sand oder Quarz anzusprechen. Wir wissen, dass derartige Tone mit freiem SiO_2 Gehalt nicht beliebt sind und praktisch durch Abschlämmen von der freien SiO_2 getrennt werden. Ziehen wir nun aus dem Gesagten die Folgerung für die Zementherstellung.

In Abb. 3 (Seite 1424) wurden die Endglieder der Silikate mit dem CaO Punkt im Diagramm verbunden. Diese neuen Verbindungslinien repräsentieren die Gleichgewichte der möglichen Zementbildung, d.h.:

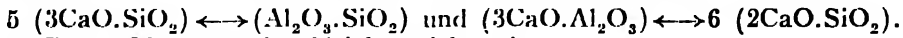


Diese Gleichgewichtslinien schneiden die für Zement infrage kommenden Gleichgewichtslinien der Systeme CaO Silikate: CaO Aluminate und begrenzen das Feld der möglichen Zementbildung weiterhin, derart, dass wir sagen können, die Zemente können nur in dem Feld ABCD liegen, sofern wir den Portlandzement im Auge haben, während das Feld $\text{BC} \cdot 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ — $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (ev. bis $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) als Bereich der Tonerdezemente anzusprechen wäre.

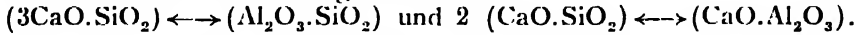
In Abb. 4 (Seite 1424) sehen wir das unser Feld ABCD durch 3 weitere Systeme durchschnitten wird. Fallen die Punkte auf der Linie $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \longleftrightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ als Zemente an sich schon aus, da in den Punkten dieser Linie die beiden stabilen Komponenten vorhanden sind also Hydratizität nicht mehr erwartet werden kann, so liegt im Punkte I der erste wirkliche Zement vor. Punkt I repräsentiert das Gleichgewicht $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \longleftrightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Ausserdem kann in ihm aber auch das Gleichgewicht $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \longleftrightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ vorhanden sein. Mit andern Worten ein Zement dieser Zusammensetzung kann sowohl in der CaO Silikat, wie in der CaO Aluminat Komponente übergesättigt sein. Es geht aus diesen beiden Möglichkeiten hervor, dass wir es hier bereits mit einem Grenzfall zu tun haben. Dieser Zement kann also Vertreter der Portland-

zement Gruppe sein, wie auch der Tonerde Zement Gruppe und es ist in diesem Punkte die Überleitung des einen Systems ins andere gegeben.

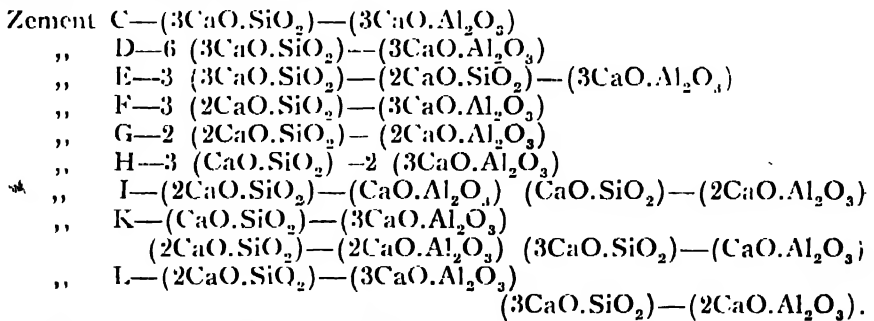
In Zementen entsprechend den Punkten N und M kann neben der Gleichgewichten CaO Silikate : CaO Aluminate, Aluminium Silikat als Komponente mit auftreten. Z. b. in Punkt N können im Gleichgewicht sein :



In Punkt M können im Gleichgewicht sein



Wir sehen also in diesen Möglichkeiten die Überleitung zu den Gläsern resp. Schlacken. Als sicheres Feld der CaO Silikat und CaO Aluminat Gleichgewichte bleibt uns also ein Gebiet, welches durch die Punkte C, D, E, I eventuel C, D, N, M, I umrissen wird. Nur in diesem Gebiet haben wir die Sicherheit das zu finden, was wir als Portlandzement bezeichnen. Markieren wir nunmehr die Punkte, in denen sich Gleichgewichtslinien der Systeme CaO Silikate \longleftrightarrow CaO Aluminate mit den Umrandungslinien des Gebietes CDEI schneiden, so können wir als charakteristisch die Zemente C, D, E, F, G, H, I, K und L fixieren. Erwähnt muss noch werden, dass die Zemente C, L, K und I praktisch bedeutungslos sind. Wir haben gesehen, dass die Gleichgewichtslinie $\text{CaO} \longleftrightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ auf welcher sich diese Zemente befinden mineralogisch auf die Augit-Hornblendereihe führt. Wir wissen, dass die Mineralien dieser Reihe bereits den stabilen Zustand erreicht haben, also SiO_2 nur noch widerwillig abgeben werden. Praktisch würde dies bedeuten, dass die Verarbeitung Dieser Mineralientypen viel Aufschlussarbeit verlangen würde, also einen teuren Aufschluss bedeutet. In der Tat verarbeiten wir in der Praxis Tone derartiger Zusammensetzung nicht. Als theoretisch interessant mögen sie aber trotzdem hier mit behandelt werden. Mineralogisch würde man die betreffenden Zemente folgendermassen auszudrücken haben :



Die chemische Zusammensetzung würde sich ergeben zu :

Zement Modul.	CaO.	Al_2O_3 .	SiO_2 .
C 2,06	67,43	20,48	12,09
D 2,53	71,72	6,24	22,04
E 2,17	68,50	6,94	24,56
F 1,80	64,10	12,96	22,94
G 1,51	60,16	18,27	21,57
H 1,34	56,75	22,99	20,16
I 1,00	50,88	30,90	18,22
K 1,38	57,99	26,42	15,59
L 1,72	63,31	23,07	13,62

Als theoretisch möglich sind alle Zemente zu bezeichnen, welche sich innerhalb des 5-Eckes C, D, N, M und I befinden. Die Schwierigkeit des Aufschlusses von Mineralien der Augit-Hornblendereihe, die in keinem Verhältnis steht zu dem Wert der zu erwartenden Zemente verbietet die Verwendung von Tonen mit überwiegendem Gehalt an derartigen Mineralien. Die Rohmaterialien, welche uns die Natur ausserdem zur Verfügung stellt, sind in der Hauptsache Tone mit Kaolin Gehalt, resp. mit Kaolin-Feldspatgehalten.

Setzen wir die aus der Praxis heraus restgesetzten Minder-resp. Höchstgehalte unserer Zemente in Beziehung zu dem im 3-Stoffdiagramm festgelegten theoretisch ermittelten 5-Eck, so erhalten wir in diesem ein weiteres kleineres 5-Eck, mit den ungefähren Eckpunkten D-N-X-Y-Z. Die diesen Eckpunkten entsprechenden Zemente würde sich dann in der folgenden Weise darstellen:

Mineralogisch

Zement D—6 $(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ — $(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$
 „ N—5 $(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ — $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2)$ 6 $(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ — $(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$
 „ X—3 $(\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ — $(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$ 2 $(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ — $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2)$
 „ Y—2 $(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ — $(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$ 2 $(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ — $(\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$
 „ Z—2 $(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ — $(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$.

Chemisch

Zement Modul.	CaO.	Al ₂ O ₃ .	SiO ₂ .
D 2,53	71,72	6,24	22,04
N 1,80	64,45	7,85	27,70
X 0,98	54,30	16,50	29,20
Y 1,77	63,79	16,61	19,60
Z 2,26	69,43	14,03	16,54

ANMERKUNG DER SCHRIFTFÜHRUNG.

DER Herausgeber der internationalen Zeitschrift „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“ fordert die Leser dieser Zeitschrift auf, ihm Artikel zur Veröffentlichung zur Verfügung zu stellen. Das Manuskript kann in englischer, französischer, deutscher oder spanischer Sprache eingereicht werden und wird in die drei anderen Sprachen durch Fachleute übersetzt.

Es werden Abhandlungen erbeten über alle neuen Gedanken oder Entwicklungen in der Herstellung, Chemie oder Prüfung von Zement oder über verwandte Themata, die für die Zementindustrie von allgemeinem Interesse sind. Beschreibungen und Ansichten neuer, in allen Teilen der Welt errichteter Zementfabriken sind ebenfalls willkommen.

Die Hersteller von Zementmaschinen sind ebenfalls aufgefordert, Mitteilungen und Ansichten zur Verfügung zu stellen, welche sich auf neue von ihnen erbaute Werke und Neueinrichtungen ihrer Fabriken beziehen. Derartige Beiträge sind eingeschrieben zu senden an den Herausgeber von „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“, Dartmouth Street 20, Westminster, London, S.W.1 (England).

Die Bestimmung des freien Kalks im Zement.

von DR. G. A. ASHKENASI.

(CHEF-CHEMIEKER DER PORTLANDZEMENT GESELLSCHAFT "NESHER LTD., PALASTINA.")

Die Bestimmung des freien Kalks ist stets ein bedeutendes Problem der Zementforschung gewesen. Der analytische Chemiker hat durch Entdeckung des freien und gebundenen Kalks versucht, die Konstitution des Portlandzements zu erforschen, und der Betriebschemiker hat durch Kontrolle des Brennprozesses den freien Kalk zu eliminieren. Von Saint Claire Deville¹ an, der den freien Kalk zu bestimmen versuchte mittels einer Lösung von Ammonnitrat in absolutem Alkohol bis heute sind viele Berichte über Verfahren zur Lösung dieses Problems veröffentlicht worden. 1909 ermittelte Prof. Alfred D. White² eine Lösung zur qualitativen Bestimmung des freien Kalks, die auf der Bildung von kristallinem Kalziumphenolat beruhte, das leicht im polarisierten Lichte unter dem Mikroskop erkannt werden kann. D. C. McFarland und H. F. Hadley³ empfahlen die Verwendung von p-Kresol anstelle von Phenol; ihre Methode ist genauer und bestimmter.

Das Haupthindernis für die quantitative Bestimmung bestand darin, dass Zement beim Mischen mit wasserhaltigen Reagenzien hydratisiert wurde. Bei der Verwendung anderer Hilfsmittel wurde ein Teil des gebundenen Kalks angegriffen. Der Gedanke von Maynard¹ Kalziumoxyd aus Zement mittels Glyzerin zu extrahieren, wurde durch W. E. Emley³ ausgearbeitet, der eine Methode ermittelte, um die Menge des freien Kalks im Zement zu bestimmen. Das jetzt im Zementbetrieb verwendete Emleysche Verfahren basiert auf der Extraktion ungebundenen Kalziumoxyds mittels alkoholischer Glycerinlösung und der Titration des Kalziumglyzerats mit einer alkoholischen Lösung von Ammonacetat. Dieses Verfahren ist indessen etwas kompliziert. Es erfordert viel Zeit und grosse Sorgfalt in der Vorbereitung der Reagenzien, die absolut wasserfrei sein müssen. Es ist besonders schwer Ammonacetat wasserfrei zu machen. Weitere Fehlerquellen bestehen in besonderen Verhältnissen der Titration, in der Abspaltung des Ammoniaks durch Erhitzen mit Rückflusskühler und in dem lang fortgesetzten Erhitzen, das einen Niederschlag von kristallinem Kalziumglyzerat verursacht, wodurch die Titration weniger genau wird. Der Verfasser hat die Methode mehrere Monate im Werkslaboratorium geprüft und stets differierende Ergebnisse erhalten.

Auch andere haben unverlässliche Resultate erhalten. Lerch und Bogue⁴ gaben zur Prüfung acht verschiedene Zemente an siebzehn Laboratorien, und die Ergebnisse schwankten um etwa 25%. So zeigte z.B. die Probe N₁ maximal eine Menge von 8,5% und minimal eine solche von 6,3%; Probe N₈ wies ein Maximum von 7,89% und ein Minimum von 5,7% auf. Wenn jemand Handelszement untersucht, der zumeist teilweise hydratisiert ist, so sind die Ergebnisse nach Emleys Verfahren ganz unannehmbare. Es wurden daher Versuche gemacht, das Ammonacetat durch ein anderes Reagenz zu ersetzen.

Dr. ing. H. Rathke⁷ fand ein passenderes in der Weinsäure und G. E. Bessey⁸ verwendete erfolgreich Benzoessäure. Die Titration mit diesen Reagentien ist einfacher und die Resultate stimmen überein. Um die n/10 Weinsäure zu erhalten, empfiehlt Dr. Rathke das Erhitzen von reinem Kalziumoxyd mit wasserfreiem Glyzerin für die Dauer von 24 Stunden bei einer Temperatur von 60-70° C., wobei die Mischung von Zeit zu Zeit geschüttelt werden soll. Innerhalb dieser Zeit ist das Kalziumoxyd völlig gelöst. Diese Lösung wird mit der alkoholischen Weinsäurelösung geprüft, wobei Phenolphthalein als Indikator Verwendung findet.

Der Verfasser vereinfachte dieses Verfahren, indem er das vierundzwanzigstündige Erhitzen und das Schütteln fortliess. Er arbeitet wie folgt:

Einstellung der n/10 Weinsäure.—Man löse 7,5 g Weinsäure in 1000 ccm Methylalkohol. Dann verarbeite man gründlich 50 mg reinstes CaO mit 2 ccm Glycerin vom spezifischen Gewicht 1,24–1,26 in einem Achatmörser; man wasche diese Mischung in einen Erlenmeyerkolben mittels 8 ccm Glycerin (viermal, jeweils 2 ccm) und mittels 10 ccm Methylalkohol. Hierauf füge man weitere 30 ccm Methylalkohol hinzu, bedecke den Kolben mit einem Uhrglase und erhitze zum Sieden. Nach drei oder vier Minuten Kochen wird die trübe Flüssigkeit klar. Längeres Erhitzen ist zu vermeiden, um zu verhindern, dass Kalziumglyzerat ausfällt. Die siedende Lösung wird gegen die vorbereitete n/10 Weinsäurelösung eingestellt, indem man eine methylalkoholische Phenolphthaleinlösung als Indikator verwendet. Die Titration geht schnell vor sich, der Farbenwechsel der Indikatorflüssigkeit von rot-rosa zu farblos ist scharf, und die Differenzen zwischen den erhaltenen Ergebnissen überschreiten 0,1 ccm nicht. Man muss sich darüber Klar sein, dass man stets eine höhere Menge CaO erhält. Anstelle des theoretischen, 1 ccm n/10 Weinsäure entsprechenden Wertes von 0,0028 g wird ein Mittel von 0,0036 g erhalten. Der gleiche Wert wird erhalten, wenn man anstatt Kalziumoxyd Kalziumhydroxyd verwendet. Zur Neutralisation gebrauchen durchschnittlich 66 mg Ca(OH)₂ 13,7 ccm n/10 Weinsäure, was 0,00364 g CaO zu 1 ccm n/10 Weinsäure entspricht.

G. E. Bessey⁹ hat bei Titration mit Benzoesäure ebenfalls höhere Resultate erhalten, die bei seinen Versuchen zwischen 0,0030 und 0,0037 g CaO auf 1 ccm n/10 C₆H₅COOH schwankten. Bessey erklärte diese Divergenz durch die Hydrolyse der Bestandteile des Kalziumglyzerats oder aber durch die Bildung kleiner Mengen stabiler Verbindungen mit Säureresten, die durch Erhitzen des Glycerins erzeugt werden. Für die Differenz zwischen den theoretischen und empirischen Werten kann an dieser Stelle keine klare Erklärung gegeben werden; da indessen diese Divergenz in zahlreichen Versuchen stets die gleiche war, hält man an dem empirischen Werte fest, und alle Versuche sind daher auf das resultierende Äquivalent basiert von 0,0036 g CaO zu 1 ccm der C₄H₆O₆-Lösung des Verfassers. Zu seinen Versuchen benutzte der Verfasser Zement, der in der Haifa-Fabrik nach dem Trockenverfahren in Drehröschachöfen hergestellt war. Es wurde eine grosse Zahl verschiedener Proben untersucht, doch genügt es an dieser Stelle, drei typische Fälle zu beschreiben.

Zement A aus gargebranntem, völlig gesintertem Klinker, in der Laboratoriumsmühle ohne Gipszusatz auf eine Mahlfeinheit von 0% Rückstand auf dem Siebe von 5000 Maschen/qcm vermahlen.

Zement B aus Leichtbrandklinker, in gleicher Weise ohne Gipszusatz und auf gleiche Mahlfeinheit vermahlen.

Zement C war ein durchschnittliches Muster der Werksmahlung in Verbundmühlen. Der Klinker wurde mit 2,5% Gips zu einer Mahlfeinheit von 3,4% Rückstand auf dem Siebe von 5000 Maschen/qcm vermahlen. Dieser nach der Le Chateliermethode auf Raumbeständigkeit geprüfte Zement wies nach 24 Stunden Luftlagerung eine Ausdehnung von 1 mm auf. Bei der Prüfung auf Zugfestigkeit nach den englischen Normen wurden erhalten:

nach 3 Tagen 34,1 kg/qcm

„ 7 „ 39,3 „

„ 28 „ 42,7 „

Vor der Titration wurde der Zement entweder bei 120° C. getrocknet oder erhitzt, bis Gewichtskonstanz im elektrischen Muffelofen bei 1050° C. erreicht war. Ein g so behandelten Zements wurde mit 2 ccm Glycerin im Achatmörser verrieben, mit Glycerin gewaschen (viermal, jeweils 2 ccm) und dann mit 10 ccm

Methylalkohol in einen Erlenmeyerkolben gegeben und hierauf weitere 30 ccm Methylalkohol zugesetzt. Der Kolben wurde mit einem Uhrglas bedeckt, und die Mischung wurde 3-4 Minuten lang gekocht und sofort titriert, indem eine 0,5%ige Phenolphthaleinlösung in Methylalkohol als Indikator verwendet wurde. Die Titration wurde fortgesetzt bis die erst rote und dann rosa Färbung der Flüssigkeit verschwunden war. Dieser Umschlag ist sehr deutlich. Bei den Proben, die nur bei 120° C. getrocknet waren, kehrte die Rosafärbung nach einigen Minuten wieder und verschwand nach Zusatz eines Tropfens Weinsäure erneut; auch dann kehrte die Färbung nach 1 Minute wieder. In den geglühten Proben hielt sich der Farbumschlag des Indikators mehrere Stunden, selbst wenn der Kolben mit einem Uhrglas bedeckt war.

Wenn man mit den Proben, die nur getrocknet waren, die Titration fortsetzt, um die Wiederkehr der Rosafärbung zu stoppen, so wird ein Punkt erreicht, an dem die Flüssigkeit für Stunden farblos bleibt. Beim Titrieren von Zement C z.B. wurden 3 ccm n/10 $C_2H_4O_6$ gebraucht, um den ersten Umschlag zu erzielen. Es war notwendig, weitere 3,8 ccm Säure zuzugeben, um den bleibenden Umschlag zu erhalten. Diese Erscheinung kann durch die Anwesenheit basischer Kalziumverbindungen, die langsam reagieren, erklärt werden. Bei dem geglühten Zement dauert der Umschlag mehrere Stunden, und wenn der Kolben fest verschlossen ist, bleibt die Flüssigkeit mehrere Tage lang farblos. In diesem Falle wird der Wechsel zur Rosafärbung durch die Anwesenheit von Wasserspuren, die unvermeidlich und sogar für die Wirkung des Indikators notwendig sind, verursacht.

Tabelle I enthält typische Ergebnisse der CaO-Bestimmung mit getrocknetem und geglühtem Zement. Diese Versuche wurden von dem Assistenten des Verfassers Dr. N. Ben-Jacob ausgeführt.

TABELLE I.
%—CaO nach der Glycerin-Weinsäuremethode der Zementprüfung.

	Proben bei 120° C. getrocknet.		Proben bei 1050° C. geglüht.	
	ccm n/10 Weinsäure	% CaO	ccm n/10 Weinsäure	% CaO.
Zement A ..	2,3 ; 2,25 ; 2,35	0,83	2,4 ; 2,35 ; 2,4	0,85
„ B ..	26,3 ; 26,2 ; 26,35	8,43	29,9 ; 29,8 ; 29,8	10,53
„ C ..	3,0 ; 2,9 ; 3,05	1,27	35,7 ; 35,8 ; 35,65	12,93

Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass der Anteil CaO im gargebrannten Klinker der gleiche bleibt, unabhängig von der Vorbehandlung. Beim Leichtbrandzement steigt der Anteil an CaO an, wenn der Zement geglüht wurde. Im Falle des Zements B erreicht der Zuwachs 2,10%, die durch die Anwesenheit von Kalziumkarbonat verursacht sind. Dieses kann nicht durch dieses Verfahren in Zementen, die nur getrocknet sind, berechnet werden. Geglüht bildet $CaCO_3$ CaO und vermehrt die Menge des freien Kalks.

Der Gips enthaltende Zement C liefert weit differierende Ergebnisse. Der Anteil an CaO, der in der getrockneten Probe 1,27% entspricht, steigt in der geglühten Probe auf 12,93%. Die flüchtige Substanz, die beim Glühen ausgetrieben wurde, wurde in Zement C untersucht. Sie bestand aus 1,47% Kohlendioxyd und 2,34% Dampf. Schwefelsäureanhydrid oder Schwefeldioxyd wurden nicht festgestellt. Die Menge an ausgetriebenem Kohlendioxyd reichte für einen Zuwachs von 1,89% Kalziumoxyd, doch zeigten die erhaltenen Resultate einen Anstieg um 11,66%. Um diese Erscheinung zu klären, wurden Proben des Zement C drei, vier, vierundzwanzig und dreissig Stunden lang geglüht. Gewichtskonstanz wurde nach etwa 2 Stunden Glühen erreicht. Die

Titrationsergebnisse des Zements nach verschieden langer Glühdauer bei 1050° C. sind die der Tabelle II:

TABELLE II.

							ccm n/10 Weinsäure Mittel % CaO	
Zement auf	1050° C. ; 3	Std.	erhitzt	..	..	..	36,35 ; 36,45	13,18
" "	1050° C. ; 6	"	"	..	..	..	38,80 ; 38,70	13,97
" "	1050° C. ; 24	"	"	..	..	..	39,10 ; 39,0	14,06
" "	1050° C. ; 30	"	"	..	..	..	39,05 ; 38,90	14,03

Ein kleiner Anstieg wurde festgestellt, der das Maximum erreicht, wenn die Proben sechs Stunden lang erhitzt worden waren. Um den Einfluss der zugesetzten Gipsmenge zu prüfen, wurden dem Zement C, der bereits 2,5% enthält, weitere 1, 2, 3 und 4% feinstgemahlene Gipses zugesetzt. Einige dieser Proben wurden bei 120° C. getrocknet und einige bei 1050° C. verschieden lange gelüht. Die Proben wurden dann titriert mit folgendem Ergebnis (Tabelle III):

TABELLE III.

Zugesetzter Gips	Proben bei 120° C. getrocknet	Proben auf 1050° C. erhitzt			
		3 Std.	4 Std.	8 Std.	24 Std.
1%	1,08 ; 1,03	13,53 ; 13,88	—	—	13,80 ; 13,95
2%	0,98 ; 0,99	13,82 ; 13,88	—	—	18,61 ; 18,67
3%	1,13 ; 1,07	14,32 ; 14,11	16,21 ; 16,30	19,01 ; 18,86	19,06 ; 18,83
4%	1,02 ; 1,09	—	—	—	18,90 ; 18,97

Die Ergebnisse beweisen, dass die im getrockneten Zement bestimmte CaO-Menge unabhängig von dem Zuwachs der Gipsmenge ist. Bei den geglühten Proben, bei denen der Gipsanteil höher als 3,5% ist, wächst die bestimmte Menge CaO mit dem wachsenden Gipszustatz, und mit der Dauer des Glühens erreicht dieser Anstieg nach 6 oder 8 Stunden mit dem Zusatz von 2% Gips sein Maximum. Dieser Zuwachs kann nicht durch die Gipszerlegung verursacht werden, weil bei 1050° C. geglühter Gips keine Schwefelsäure verliert; zweitens waren die gefundenen CaO-Mengen wesentlich grösser als die CaO-Menge in dem verwendeten Gips.

Es muss angenommen werden, dass Kalziumoxyd aus Zement in Freiheit gesetzt wird, wenn Zement, der Gips enthält, erhitzt wird. Diese Abspaltung ist begrenzt; die Menge an freiem Kalk ist die gleiche, wenn der Zement 4,5, 5,5 oder 6,5% Gips enthält. In dieser Hinsicht ist die Erscheinung ähnlich der Einwirkung des Gipses als Abbindeverzögerer. Die wahrscheinlichste Annahme ist die, dass, wenn Gips mit Zement erhitzt wird, er die lose gebundenen Kalkkomponenten im Zement zerlegt und Kalk in Freiheit setzt. Weitere Untersuchungen dieser Frage werden vorgenommen.

LITERATUR.

- ¹ Saint Claire Deville, "Journ. prakt. Chem." 81, S.62.
- ² A. White, "Ind. Engin. Chem.," Nr. 1, 1909, S.5.
- ³ McFarland und H. F. Hadley, "Chem.-Ztg.," Nr. 122, 1912.
- ⁴ W. E. Emley, "Trans. Amer. Ceram. Soc." Nr. 17, 1915.
- ⁵ Maynard, "Tonind.-Ztg.," Nr. 27, 1903, S.1253.
- ⁶ Lerch und Bogue, "Zement," 1931, S.653.
- ⁷ H. Rathke, "Tonind.-Ztg.," 1928, S.1318; "Zement" Nr. 28, 1931.
- ⁸ G. E. Bessey, "Journ. Soc. Chem. Ind.," 1930, S.360.
- ⁹ G. E. Bessey, "Zement," 1931, S.654.

Die Mineralogie des Zements.

von A. C. DAVIS.

(BETRIEBSDIREKTOR DER ASSOCIATED PORTLAND CEMENT MANUFACTURERS LTD.)

Aus früheren Abhandlungen kann erschen werden, dass die Bestandteile normalen Portlandzements leicht durch die üblichen Methoden der chemischen Analyse bestimmt werden können, und derartige Untersuchungen zeigen, dass gute Zemente wenig in der Konstitution differieren, obwohl der Prozentgehalt der einzelnen Bestandteile in verschiedenen Proben variiert. Die chemische Prüfung ermöglicht es indessen dem Fachchemiker oder sonst wem nicht, festzustellen, ob ein Zement bei der Verarbeitung in der Praxis höhere oder mittelmässige Güte besitzt. Es dürfte nicht schwierig sein, ein Material herzustellen, das die genauen Bestandteile gewöhnlichen Portlandzements hat, aber trotzdem keine zementartigen Eigenschaften besitzt. Die Bestimmung des Marktwertes des Erzeugnisses muss daher noch den mechanischen und physikalischen Prüfmethoden, über die später berichtet werden soll, überlassen bleiben.

Die Portlandzementindustrie kann eine gründliche Kenntnis und Praxis der Chemie bei der Herstellung, Prüfung und Verarbeitung des Zements nicht entbehren. Diese ist von ausschlaggebender Bedeutung bei der Kenntnis von den Schwankungen oder von der Gleichmässigkeit der Rohmaterialmischung, des fertigen Erzeugnisses und der Sonderheiten des bei der Herstellung benutzten Rohmaterials, was ein äusserst wichtiger Punkt ist, der besonderes Studium erfordert. Eine gründliche chemische Kenntnis ist erforderlich, wenn man mit Portlandzement zu tun hat. Während indessen die Chemie seit langem in den Dienst der Zementindustrie gestellt wurde, hat die Mineralogie sich dieses Gebiet nur allmählich erschlossen so, dass der Zementchemiker von der chemischen zur mineralogischen Prüfung übergeht in seinem Bestreben, gründlicher die Antwort auf die oft gestellte Frage: „Was ist Portlandzement?“ erteilen zu können.

Bei der Untersuchung von Portlandzement erweist sich die Mineralogie als eine wertvolle Hilfe, da sie die technischen und chemischen Untersuchungen ergänzt und bereits wichtige Entdeckungen geliefert hat. Ein gutes Mikroskop ist ein unentbehrlicher Gegenstand in der Ausrüstung eines Zementprüflaboratoriums. Wie gut bekannt ist, können die mineralogischen Bestandteile der Gesteine unter dem Mikroskop in Dünnschliffen mittels polarisiertem Licht identifiziert werden, und diese petrographischen Verfahren sind auf Teile des Portlandzementklinkers zur Anwendung gelangt.

Die beiden so erkannten, vorherrschenden Mineralien im Zementklinker sind die sogenannten: Alit und Celit. Andere Bestandteile sind auch erkennbar, doch scheinen diese von nicht wesentlichen Konstituenten wie Eisen, Magnesia und Alkalien herzurühren.

Indem man mit ganz reinen Kalk- und Tonerdesilikaten arbeitete, wurde der Erfolg erzielt, synthetisch entsprechend reine Bestandteile, die gänzlich aus Alit und Celit bestanden, zu bilden. Alit ist eine feste Lösung von Trikalziumaluminat und Trikalziumsilikat, während Celit eine feste Lösung von Dikalziumsilikat und Dikalziumaluminat ist. Im geschmolzenen Zustande sind diese Aluminate und Silikate ineinander in allen Verhältnissen löslich; dieses ist indessen nicht im kalten Zustand der Fall, da die Mischung dann in Alit und Celit sich aufspaltet, von denen jedes die Eigenschaften eines echten

Zements besitzt. Damit beide Bestandteile anwesend sind, muss die prozentuelle Zusammensetzung des Zements in folgenden Grenzen liegen :

Kieselsäure	18,5—23,2
Tonerde	6,1—11,9
Kalk	63,1—68,1

Die Handelszemente erreichen nicht die obere Kalkgrenze, da es industriell unmöglich ist, die dann benötigte höhere Temperatur durch Erhitzen zu erreichen, doch können solche Mischungen im Laboratorium gebrannt werden. In der Praxis werden Zemente nicht geschmolzen, und der Herstellungsprozess hält kurz vor dem Schmelzen auf. Die Bildung dieser festen Lösungen durch Zusammensintern der Materialien bei einer unter ihrem Schmelzpunkt liegenden Temperatur wird jenem Prozess der Diffusion eines festen Bestandteils in den anderen, die im Falle der Metalle vorkommt, zugeschrieben. Je höher die Temperatur ist, um so schneller geht der Prozess der Diffusion vor sich. Die erforderliche Zeit hängt auch von der Grösse der Oberflächen, zwischen denen sie stattfinden kann, ab, und, je feiner die Rohmaterialien gemahlen sind, um so leichter vollendet sich die Diffusion. Die Verwendung einer sehr hohen Temperatur zum Sintern, gefolgt von einem sehr schnellen Abkühlen des gebrannten Materials, sollte vermieden werden, weil das Kalziumaluminat im Silikat bei hoher Temperatur sehr viel löslicher ist. Wird zu rasch abgekühlt, so erhält man eine übersättigte Lösung, die sich in labilem Gleichgewichte befindet. Der Umschlag in die stabile Modifikation wird durch eine Volumenänderung begleitet, die auf den Zusammenhalt des Klinkers sich zerstörend auswirkt.

Eine andere Anschauung der Zementtechnologie wurde dem Verfasser durch Day und Shepherd vom Geophysikalischen Laboratorium des Carnegie-Instituts in Newyork auseinandergesetzt. Sie haben gezeigt, dass Trikalziumsilikat nicht in den Zwei-Komponentenserien existiert.

Nach den mineralogischen Untersuchungen ist es offenbar klar, dass Portlandzement keine feste Konstitution besitzt, da es kein homogener Stoff sondern eine mineralogische Mischung ist. Er ist eine Verbindung verschiedener Stoffe, die entweder Portlandzementbestandteile oder Portlandzementmineralien sind. Diese Entdeckung ist bedeutsam und bezeichnend, da sie uns beträchtlich der endgültigen Lösung, der Konstitution des Portlandzements näher bringt.

Die Zementfachleute sind sich darüber einig, dass nicht weniger als fünf Portlandzementmineralien existieren. Ihre Untersuchung ist kompliziert und weit davon entfernt, leicht zu sein, da sie nicht unter allen Umständen gleichmässig, sowohl mengen- wie artmässig, in jeder Portlandzementmarke vorkommen, und gelegentlich fehlt eines oder mehrere der Mineralien überhaupt. In der Auffassung einiger Fachleute besitzen alle Portlandzementmaterialien trotz ihrer Verschiedenheit gleichen Ursprung, da sie sonst nicht das wären, was sie sind. Sie gehören zu dem Genus Zement, der aus Kalk und Ton gebrannt ist und von aller Kohlensäure befreit wurde. Die Portlandzementmineralien bestehen offensichtlich aus vier kristallinen und einem amorphen Mineral. Jedes dieser Mineralien besitzt seine eigene Konstitution, doch ist das wirkliche Vorhandensein eines jeden bis jetzt noch nicht mit einiger Sicherheit festgestellt worden. Die kristallinen Portlandzementmineralien werden Alit, Belit, Celit und Felit genannt. Das amorphe Mineral ist als gläserner oder glasiger Rückstand bezeichnet worden.

Die Untersuchung dieser Mineralien ist durch den Umstand noch mehr erschwert, dass bei dem Prozess des Brennens von Kalkkarbonat und Ton zur Herstellung von Portlandzement die Mineralien zusammengeschmolzen werden und es noch nicht möglich gewesen ist, sie durch irgend ein bekanntes wissenschaftliches Hilfsmittel zu trennen. Es kann daher nicht festgestellt werden,

wie sich die einzelnen Mineralien verhalten würden, wenn sie isoliert werden könnten.

Das Mineral Alit hat sich als Erhärtungsfaktor von grosser Energie herausgestellt, und diese Eigenschaft beruht auf der Tatsache, dass beim Zusatz von Wasser Alit sich schnell auflöst, dann stark gelartig wird und so erhärtet.

Es ist berichtet worden, dass die Produkte der Zersetzung durch Wasser im wesentlichen aus zwei Arten bestehen; das eine ist eine offensichtlich amorphe Masse, welche nach gewisser Zeit teilweise kristallin wird, und das andere ist eine kristalline Substanz, die alle Hohlräume des Zements ausfüllt. Diese letztere Substanz ist Kalkhydrat. Die amorphe Masse kann aus hydratisiertem Kalksilikat wahrscheinlich mit einer Zumischung von Tonerdehydrat bestehen.

Man nimmt an, dass die Fähigkeit des Portlandzements, abzubinden, auf der Adhäsivfähigkeit der amorphen Masse beim Aufquellen mit Wasser beruht, dass die folgende Masse indessen vornehmlich wegen der allmählichen Auskristallisation von Kalkhydrat erhärtet.

Wenn sich die Annahme als richtig erweisen sollte, dass Alit ein Stoff ist, in dem Tonerde und Kieselsäure sich reziprok ersetzen können, so müsste die Wirkung des Alits variieren je nach dem Prozentgehalt an Tonerde und Kieselsäure. Diese Differenz in der Zusammensetzung des Alits ist wahrscheinlich die Ursache für Schwankungen in der Abbindezeit und in den Zug- und Druckfestigkeiten des Portlandzements. Der Prozentgehalt an Tonerde und Kieselsäure, der den wirksamsten Alit ergibt, um die beste Qualität des Portlandzements sicher zu stellen, ist indessen noch nicht entdeckt worden.

Die Auflösung des Alits erfolgt anfänglich nur auf der Oberfläche, und der innere Kern des Alitkörpers bleibt gewöhnlich unaufgeschlossen. Es ist wahrscheinlich diesem Umstande zu danken, dass abgebundener Zement neu gemahlen wurde und wieder als Zement verwendet wurde. Wenn man solches Material wieder mit Wasser mischt, besitzt es starke abbindende Eigenschaften und erreicht eine gewisse Festigkeit. Das Mass dieser hängt offensichtlich bis zu einem gewissen Grade von der Mahlfeinheit des ursprünglichen Zements ab, und es ist markanter bei gröberen Zementen.

Alit ist ein hochkalzrhaltiger Körper, der oft bis 71% davon enthält. Je mehr Kalk daher die Rohmischung enthält, um so grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Endprodukt, gesteigerte Alitmengen enthält. Gleichzeitig kann dieser Kalkzusatz ein Zuviel an Kalk und die Gefahr der Anwesenheit von freiem Kalk verursachen, wodurch so die Raumbeständigkeit gestört wird und Treiben entsteht, während sich sonst ein gutes Fabrikat ergeben hätte.

Im allgemeinen und gemäss unserer gegenwärtigen Kenntnis kann gesagt werden, dass die Güte des Alit und das Vermeiden von freiem Kalk von der Temperatur abhängen, bei welcher die aufbereiteten Rohmaterialien gebrannt sind, und dieses muss seinerseits auf der Zusammensetzung der Rohstoffe und dem gewählten Fabrikationsprozesse beruhen. Wenn z.B. die aufbereiteten Rohmaterialien bei sehr hoher Temperatur gebrannt worden sind, kann der Klinker beim Abkühlen zu Staub zerrieseln. Wenn dieser Staub mit Wasser gemischt wird, so wird er sehr langsam abbinden, und er wird eine niedrige Zugfestigkeit ergeben. Während einerseits ein in dieser Weise zerstörter Zement gewöhnlich viel Belit enthält, hat es sich andererseits herausgestellt, dass viele geprüfte Zementproben nur Felit enthielten. Dieses ist nicht auf Rechnung einer Verwechslung beider Materialien zu setzen, denn unter dem Mikroskop ist der Unterschied zwischen Belit und Felit so gross, dass ein solcher Irrtum kaum möglich ist. Wahrscheinlich ist der zerstörte Zement in einen Falle nicht bei einer so hohen Temperatur gebrannt worden wie die Ergebnisse der Zerstörung im anderen Falle, und es ist daher geschlossen

worden, dass bei sehr hoher Temperatur sich Felit im Erzeugnis ergeben kann, und dass bei niedrigerer Temperatur Belit entstehen kann.

Es möge eine interessante Ansicht über die Zementmineralogie und ihre Verknüpfung mit der Zerstörung von Zementklinker beim Brennen bei sehr hohen Temperaturen mitgeteilt werden. Wenn Klinker bei höherer Temperatur gebrannt wird, als nötig ist, zu seiner Kristallisation, so enthält er viel von dem als glasiger Rückstand bezeichnetem Mineral. Wenn man solchen Klinker allmählich abkühlen lässt, so beginnt er Kristalle zu bilden und so etwas von seinem glasartigen Charakter zu verlieren. Dieser Prozess ist die Ursache dafür, dass die Masse zerfällt. Wenn jedoch solch ein Klinker plötzlich mit kaltem Wasser abgeschreckt wird, so wandelt sich der glasige Rückstand des Portlandzements schnell aus seiner plastischen Beschaffenheit in eine harte und feste, und die Kristallisation wird unmöglich gemacht. Der Klinker bleibt nicht nur beständig in seiner Modifikationsform, sondern er behält auch die grossen hydraulischen Merkmale des glasigen Mineralrückstandes im Portlandzement und bewahrt sich so seinen eigenen hydraulischen Wert.

Unter einem stark vergrösserndem Mikroskop kann man deutlich sehen, dass Felit ein Mineral ist, das eine festbestimmte Doppelplanbrechung besitzt und das deutlich parallel gestreift ist, während Alit farblos, körnig oder flockig ist mit schwacher Doppelbrechung.

Man glaubt, dass das letzte der Mineralien, nämlich das Portlandzementglas, eine untergeordnete Rolle in der Mineralogie des Zements spielt, doch sind sich die Fachleute über diesen Punkt nicht einig. Gemäss einer gewissen Erfahrung ist gefunden worden, dass dieser glasige Rückstand unter gewissen Umständen eine ebenso wichtige Rolle wie Alit einnehmen kann, und man hat unter gewissen Bedingungen angenommen, dass er die gleiche Erhärtungsenergie besitzt. Unter dem Mikroskop untersuchtes Portlandzementglas erscheint als ein farbloses Glas doch erscheint es in einzelnen Fällen schwach gelblich. Wenn es fein gemahlen mit Wasser versetzt und gestampft wird, so spaltet es sich bei normalen Temperaturen ausserordentlich langsam auf; es schliesst sich schneller auf, wenn heisses Wasser verwendet wird und ausserordentlich schnell in alkalischer Lösung.

Bei neueren Untersuchungen sind die Röntgenstrahlen für die Verbindungen, die im Portlandzementklinker vorkommen können, benutzt worden, und mit ihrer Hilfe sind Forschungen ausgeführt worden, über die Konstitution des Zementklinkers und die Identifizierung der Bestandteile, die in Handelsware vorkommen. Durch diese Mittel haben die Forscher gezeigt, dass Trikalziumsilikat existiert und durch gemeinsames Erhitzen einer richtig proportionierten Mischung von Kalk und Kieselsäure unter passenden Bedingungen gebildet werden kann. Es ist auch gezeigt worden, dass der Kalk nicht eine feste Lösung mit Dikalziumsilikat in merkbaren Mengen eingeht, dass aber Zusammensetzungen, die zwischen 2 Molekülen Kalk+1 Molekül Kieselsäure und 3 Molekülen Kalk+1 Molekül Kieselsäure rangieren, bei geeigneter Erhitzung im Gleichgewicht eine Mischung von Trikalziumsilikat und entweder α -oder β -Dikalziumsilikat enthalten.

Die Röntgenstrahlenuntersuchung einer Zusammensetzung von 8 Molekülen Kalk+1 Molekül Tonerde+2 Molekülen Kieselsäure hat weiterhin ergeben, dass eine Verbindung dieser Zusammensetzung nicht in dem System Kalk-Tonerde-Kieselsäure und auch nicht im Portlandzement existiert. Im Gegenteil ergibt eine solche, geeignet erhitzte Mischung Trikalziumsilikat, β -Dikalziumsilikat und Trikalziumaluminat und, falls das Gleichgewicht nicht ganz vollständig ist, eine kleine Menge an Kalk. Ausserdem hat eine besondere Untersuchung des Systems Trikalziumsilikat-Dikalziumsilikat-Trikalzium-



aluminat gezeigt, dass zwischen keinem dieser Silikate und dem Aluminate eine feste Lösung in merkbaren Mengen vorkommt. Im Gleichgewicht enthalten die Mischungen nur jene drei Verbindungen.

Durch das Röntgenstrahlenverfahren ist in Handelszementklinkern kein freier Kalk gefunden worden. Die Untersuchung der Kalkidentifizierung zeigt an, dass ein Prozentgehalt von 2,5 erkannt werden konnte, und daher ist offenbar freier Kalk gemeinhin nicht in Handelsklinkern in Mengen über 2,5% anwesend.

Die minimalsten Mengen der Zementverbindungen, die in den untersuchten Laboratoriumsklinkern mittels des Röntgenstrahlenverfahrens entdeckt werden konnten, waren folgende :

	Prozent.
Trikalziumsilikat	8
β -Dikalziumsilikat	15
Trikalziumaluminat	6
Tetrakalziumaluminoferrit	15
Magnesia	2,5
Kalk	2,5

Zementklinker, die viele Arten von Rohmaterial und von Fabrikationsverfahren repräsentierten, wurden der Röntgenstrahlenuntersuchung unterzogen, und Trikalziumsilikat und β -Dikalziumsilikat wurden in jedem als die zweifellos am meisten vorherrschenden Komponenten identifiziert. Trikalziumaluminat, Tetrakalziumaluminoferrit und Magnesia wurden allein oder zusammen identifiziert in den meisten Klinkern, doch wurden in vielen von ihnen Proben von einer oder zweier dieser letzteren Komponenten nicht beobachtet.

Die in dieser Untersuchung mittels Röntgenstrahlenverfahren erhaltenen Ergebnisse befinden sich in Uebereinstimmung mit jenen, die durch chemische und mikroskopische Verfahren erhalten wurden, und jedes dieser dient dazu, das andere zu stützen und zu bestärken. Die gesammelten Ergebnisse dürften, wie man zum Ausdruck bringen darf, die wesentliche Konstitution des Portlandzementklinkers bestimmen. Diese Ergebnisse zeigen an :

- (1) dass die am meisten vorhandenen Konstituenten Trikalziumsilikat und β -Dikalziumsilikat sind,
- (2) dass normalerweise ausserdem Trikalziumaluminat, Tetrakalziumaluminoferrit und Magnesia anwesend sind, und
- (3) dass freier Kalk normal in 2,5% übersteigenden Mengen nicht anwesend ist.

Neuere Schlambrennverfahren.

von E. SCHIRM.

In der Zementindustrie bereitet man bekanntlich das Rohgut vielfach nass auf, einmal weil man ein gleichmässigeres und damit hochwertigeres Erzeugnis erhält und weil ferner häufig die Rohstoffe in stark feuchtem Zustande anfallen, bei Anwendung des Trockenbrennverfahrens in diesem Falle also eine vorherige Trocknung der Rohstoffe notwendig und eine Ersparnis an Brennstoff mithin nicht zu erwarten ist. Der Schlamm wird dabei heute noch meist im einfachen Drehrohr gebrannt, obgleich dies hohe Abgastemperaturen und damit grosse Wärmeverluste bedingt. Die Abgastemperatur beträgt etwa 400° bis zu 500°. In einigem Umfange haben allerdings schon zwei Verfahren in der Industrie Eingang gefunden, die eine niedrigere Abgastemperatur gewährleisten, und zwar kommt man ohne Schwierigkeiten auf etwa 350°. Das eine Verfahren bedient sich im oberen Ofenende eingebauter Ketten und das andere ist das Schlammgesprühverfahren. Bei ihm wird das Gut in Gestalt eines Sprühregens

in den Drehrohrofen geschleudert. Im folgenden soll über diese Verfahren und über eine Reihe weiterer, neuerer Versuche berichtet werden.

Der Einbau von Ketten im oberen Teil des Drehrohrs hat den Zweck, die verfügbare Wärmeaustauschfläche zwischen Gasen und Gut zu vergrössern, ohne dass man gezwungen ist, das Drehrohr zu verlängern. Die Ketten hängt man an beiden Enden lose oder auch an einem Ende, verteilt auf den Umfang des Drehrohrs auf. Sie hängen dann bei jeder Lage des Drehrohrs quer durch den Ofen und mit ihrem unteren Teil tauchen sie in den Schlamm ein. Wenn sie bei der weiteren Drehung des Ofens wieder aus dem Schlamm austauschen, sind sie von diesem vollkommen eingehüllt. Die Ketten fördern also den Schlamm in den oberen Teil des Ofenquerschnittes, teilweise rinnt und tropft er von dort wieder hinunter und benetzt sämtliche Kettenglieder. Das Benetzen der Kettenglieder mit Schlamm hat den doppelten Zweck, den Gasen eine grosse Berührungsfläche darzubieten und die Ketten vor dem Verbrennen in den heissen Gasen zu schützen. Diese zweite Aufgabe kann das Benetzen natürlich nur lösen, wenn der Schlamm noch gut flüssig ist, solange er mit den Ketten in Berührung ist. Andernfalls würden die Ketten verbrennen. Daraus folgt weiter, dass die Ketten nur geeignet sind, ein Vortrocknen des Schlammes zu bewirken, das Fertigrocknen bis zum Krümelzustand muss in dem übrigen, glatten Teil des Drehrohrofens vorgenommen werden. Immerhin kann man mit Ketten im oberen Teil des Drehrohrofens gute Erfolge erzielen, wie das neue Werk des Wicking-Konzern in Neuwied a/Rhein beweist. Dort arbeitet man in dieser Weise und dabei erreicht man noch sehr hohe Leistungen je Ofeneinheit. Ein Anbacken des Gutes an den Kettengliedern und ein Verkrusten derselben ist nicht zu befürchten, da der Schlamm noch verhältnismässig flüssig ist, wenn er mit den Ketten in Berührung kommt. Aber auch dann, wenn der Schlamm schon einen Teil seines Wassergehaltes eingebusst hat und konsistenter geworden ist, neigt er wenig zum Anbacken, da die einzelnen Kettenglieder dauernd Bewegungen gegeneinander ausführen, der an den Kettengliedern haftende Schlamm also immer wieder abgestossen wird.

Das Schlammsprühverfahren wird hauptsächlich in England angewandt. Man geht dabei ebenfalls von der Erwägung aus, dass man den Ofengasen eine grosse Berührungsfläche darbieten muss, wenn sie ihre Wärme vollkommen an das Gut abgeben sollen. Um irgend welche Anbackungen des Gutes an Ofeneinbauten auszuschalten, verzichtet man ganz auf Einbauten und spritzt den Schlamm durch Düsen unter Druck in den glatten Ofen. Das Gut bietet sich den Gasen in Form eines Schleiers dar. Das Verfahren ist eine Weiterbildung eines älteren Verfahrens von Kühl, bei dem ebenfalls der Schlamm in den Ofen hinein zerstäubt wird. Man ist bestrebt, so zu arbeiten, dass der Schlamm trocken ist, wenn er auf die Ofenwandung niederfällt. Die Berührung von Gas und Gut ist bei der feinen Verteilung des Gutes in dem Sprühregen ideal. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass man auch hier eine vollkommene Trocknung des Gutes im Schwebezustand nicht erreichen kann. Ist das Gut nämlich nahezu trocken und befindet sich noch in der Schwebe, so wird es von den Rauchgasen mitgerissen und wieder nach dem Guteintrittsde des Ofens gefördert. Hier wird zwar ein Teil des Staubes von den frischen Tropfen ausgeschieden, aber die Stauhmenge ist so gross, dass beträchtliche Mengen davon in die Esse gelangen. In der Praxis muss man daher auch hier so arbeiten, dass im Schwebezustand nur ein Vortrocknen vorgenommen wird. Der Düsendruck muss also vermindert werden und die erst mässig getrockneten Guttropfen fallen auf die Ofenwandung nieder. Die Staubentwicklung kann man so in erträglichen Grenzen halten, dafür beträgt aber die Abgastemperatur

bei dieser Arbeitsweise und einem Schlamm mit dem üblichen Feuchtigkeitsgehalt von 40% etwa 350°.

Eine weitere Schwierigkeit besteht in der Verstopfungsgefahr der engen Düsen. Man muss sie deshalb leicht auswechselbar machen. Die Auswechselbarkeit ist auch deshalb notwendig, weil die Düsen von dem Schlamm nach nicht allzu langer Zeit verschlissen sind. Eine ständige, aufmerksame Wartung der Beschickungseinrichtung des Ofens ist daher auch notwendig. Da es mitunter vorkommt, dass die Düse oder bei Verwendung mehrerer Düsen einige davon gleichzeitig verstopft sind, können zeitweise die heissen Ofengase bis an die Düsen gelangen und diese verbrennen. Bei neueren Anlagen verhindert man dies dadurch, dass man die Düsen aus dem Gasweg heraus in eine besondere Kammer zurückverlegt. Dass der Düsenstrahl dadurch etwas verlängert werden muss, ist unerheblich, eine geringe Drucksteigerung in der Düse genügt, um dies auszugleichen. Dem Hauptnachteil, der Staubeentwicklung bezw. der nur mässigen Ausnutzung der Abgaswärme, ist damit aber nicht abgeholfen.

Um den Trocknungsvorgang in der Schwebezone besser beherrschen zu können, hat man weiterhin schon Versuche unternommen, den Vortrocknungsteil von dem eigentlichen Ofen zu trennen und getrennt anzutreiben, man hat auch diese Ofenzone in einen besonderen Schacht hinter den Ofen verlegt. Ein Ausführungsbeispiel unter vielen ähnlichen zeigt die Abb. 1 (Seite 1356). Der Schacht hat eine schornsteinähnliche Form und der Schlamm wird oben durch eine Rohrleitung mit vielen Öffnungen eingeführt. Der Schlamm fällt wie Regen senkrecht durch den Schacht nach unten, den Abgasen des Ofens entgegen. Eine Verstopfung der Schlammröhren kann hier nicht so leicht eintreten, da man mit sehr mässigem Düsendruck arbeiten kann. Die Düsenöffnungen sind daher entsprechend grösser. Der getrocknete Schlamm sammelt sich auf dem Schachtboden und wird durch eine Schnecke einem Beckerwerk zugeführt, das ihn einer Aufgaberutsche oder einer zweiten Schnecke zuleitet, die ihn in den Ofen fördert. Man könnte zwar den Schachtboden schräg ausführen und ihn unmittelbar als Aufgaberutsche benutzen, der eingedickte Schlamm kann sich aber auf der Rutsche festsetzen. Er bildet eine zusammenhängende, kleisterartige Kruste, die allmählig immer stärker wird und schliesslich den Gasdurchgang behindert sowie die ganze Anlage verstopft. Den Schlamm in dem Schacht vollkommen zu trocknen, verbietet schon die dann notwendige grosse Höhe des Schachtes. Abgesehen davon tritt aber auch hier bei stärkerer Trocknung eine ausserordentlich starke Staubeentwicklung auf. Man muss sich deshalb auf eine Vortrocknung des Schlammes im Schacht beschränken und das wärmetechnische Ergebnis dürfte daher etwa dem des Schlammsprühverfahrens entsprechen. Eins ist allerdings noch zu bedenken. Der mässig getrocknete Schlamm kann sich an den Schachtwandungen festsetzen. Ihn durch Abkratzevorrichtungen wieder zu entfernen, dürfte bei der Länge des Schachtes umständlich sein. Bei dem Schlammsprühverfahren sind solche Anbackungen weniger zu befürchten. Da das Drehrohr in dauernder Bewegung ist, fällt der an den Ofenwandungen anbackende Schlamm zum grössten Teil von selbst wieder ab. Auch kann man diesen Vorgang leicht durch Anbringung weniger Ketten oder Gewichte in der durch Anbackungen gefährdeten Zone unterstützen.

Man hat ferner vorgeschlagen, gleichzeitig Ketteneinbauten und Düsen zum Einspritzen des Schlammes zu verwenden. Die sich dann ergebende Anordnung ist in Abb. 2 (Seite 1357) gezeigt. Die Ketten sind durchweg nur an einem Ende aufgehängt und am anderen Ende mit einem Gewicht beschwert. Sie besitzen eine solche Länge, dass sie nahezu unten aufliegen. Das bedeutet einerseits dass man die doppelte Menge an Ketten unterbringen muss, um dieselbe Wärmeübertragungsfläche zu erhalten, denn die Hälfte der Ketten liegt jeweils auf dem

Boden auf, ist also nur wenig den Rauchgasen ausgesetzt, während bei an beiden Enden aufgehängten Ketten stets nur ein kurzes Stück auf der Unterseite des Drehrohrs aufliegt. Dies kann nur als Nachteil angesehen werden. Andererseits ist aber als Vorteil zu buchen, dass die Ketten ihre Lage gegenseitig nicht beeinflussen, die Ketten hängen sämtlich genau senkrecht.

Die Düse, die wie immer in der dem Ofenende gegenüberliegenden Wand des Ofenkopfes untergebracht ist, ist nämlich etwas schräg gestellt. Man versprüht auch den Schlamm nicht wie beim Schlammsprühverfahren, sondern bläst ihn in einem feinen, geschlossenen Strahl ein. Da die Ketten nun in Reihen hintereinander ausgerichtet sind, trifft der schräge Strahl nacheinander immer andere Stellen der einzelnen Kettenlängswände. Der Schlamm wird also annähernd gleichmässig auf alle Ketteneinbauten verteilt. Das Ergebnis dieses Verfahrens dürfte etwa dasselbe sein wie bei Öfen mit den gewöhnlichen Ketteneinbauten und einem einfachen Schlammeinlauf, denn die gleichmässige Verteilung des Schlammes auf die Ketten wird durch die Umdrehung des Ofens erreicht.

Bei einer Reihe von Schlammeindickungsvorrichtungen wird der Schlamm mittelbar durch die Rauchgase erwärmt durch feste Wandungen hindurch. Auch so kann man eine grosse Wärmeübertragungsfläche auf kleinem Raum schaffen. In der Rauchkammer des Ofens (siehe Abb. 3, Seite 1358) ist eine oder sind besser eine Anzahl Drehtrommeln angebracht, die aussen von den Rauchgasen umspült werden, während innen der Schlamm hindurchströmt. Durch mehrere, entsprechend angeordnete Rauchabzüge können die Trommeln den Rauchgasen mehr oder weniger ausgesetzt werden, auch kann man sie gelegentlich ganz aus dem Rauchgasstrom ausschalten. Ferner können durch Anbringung von Rauchzügen die Gase mehrmals die Trommeln umspülen. Die Wasserdampfschwaden, die aus dem Schlamm entweichen, werden gesondert abgeführt und erst in der Esse mit den Rauchgasen gemischt. Sie mischen sich also nicht mit den noch heissen Abgasen, deren Temperatur herabsetzend. Das ist überhaupt der grösste Vorteil der mittelbaren Erwärmung des Schlammes. Die Rauchgase dienen ausschliesslich zur Verdampfung des Wassers. Den gebildeten Dampf kann man sofort abführen, ohne ihn zu überhitzen, was bei unmittelbarer Berührung von Schlamm und Rauchgasen unvermeidlich ist.

Die Eindickung des Schlammes kann bei Vorhandensein einer genügend grossen Wärmeübertragungsfläche ziemlich weitgetrieben werden, da bei Drehtrommeln die Entfernung etwaiger Ansätze stärker eingedickten Gutes keine unüberwindlichen Schwierigkeiten bietet. Allerdings haben Drehtrommeln keine allzu grosse Wärmeübertragungsfläche. Man kann mit Rücksicht auf die Anbackungen unter einen bestimmten Durchmesser der Trommeln nicht heruntergehen. Man hat deshalb schon weiter vorgeschlagen, statt der Drehtrommeln Rohrschlangen einzubauen und durch diese den Schlamm fliessen zu lassen. Die Wärmeübertragungsfläche kann dann zwar leicht auf die zur restlosen Wärmeausnutzung der Abgase notwendige Grösse gebracht werden, aber Rohrschlangen verbieten eine stärkere Eindickung des Schlammes, da die Rohre sonst sich verstopfen.

Bei einigen weiteren Anlagen wird hinter den Drehrohröfen ein Dampfkessel gesetzt und den erzeugten Dampf benutzt man zum Trocknen des Schlammes, wie beispielsweise die Abb. 4 (Seite 1358) zeigt. Die Abgase beheizen ausschliesslich den Dampfkessel, hernach gelangen sie unmittelbar in die Esse. Der Dampf dient zunächst zum Antrieb einer Kraftmaschine, in der man bekanntlich nur einen kleinen Teil seines Wärmeinhaltes ausnutzen kann. Bevor der Dampf dann in den Kondensator gelangt, durchfliesst er irgend einen dampfbeheizten Oberflächen-trockner. Im vorliegenden Falle besteht der

Trockner aus einer Anzahl senkrechter, sich drehender Trommeln, durch die der Dampf strömt, während aussen der Schlamm aufgetragen wird. Durch Kratzer wird der getrocknete Schlamm wieder entfernt. Die Dampfleitungen sind so geführt, dass man einen beliebigen Teil des Dampfes auch unmittelbar in den Kondensator schicken kann. Das soll jedoch im allgemeinen nur geschehen, um den wechselnden Dampfbedarf der Kraftmaschine auszugleichen, denn in wärmetechnischer Hinsicht ist es wünschenswert, den gesamten Dampf im Trockner auszunutzen.

Der Trockner wirkt auf den Dampf ebenfalls als Kondensator. Im günstigsten Falle kann also im Trockner der gesamte Dampf in Wasser verwandelt werden. Es wird dann sämtliche, zur Erzeugung des Dampfes aufgewendete Wärme an das Trockengut übertragen. Voraussetzung dafür wäre eine sehr wirksame Kühlung des Dampfes durch das Trockengut. Da aber des Trockner die Aufgabe hat, das im Trockengut enthaltene Wasser zu verdampfen, wird das Gut während des grössten Teils seiner Aufenthaltsdauer im Trockner eine Temperatur von etwa 100° haben müssen. Eine wirksame Kühlung des Dampfes im Trockner dürfte daher nicht möglich sein und damit entsteht eine wesentliche Verlustquelle für die Wärme. Eine weitere Verlustquelle ist darin zu sehen, dass es sich in einem Dampferzeuger im allgemeinen nur lohnt, die Abgase bestenfalls auf 250° auszunutzen. Die restliche Wärme entweicht nutzlos durch den Schornstein. Wenn man sich ein Bild von der Wärmebilanz der Anlage machen will, so muss man noch bedenken, dass bei stärkerer Eindickung des Gutes im Trockner die Abgastemperatur des Ofens der einer Anlage nahe kommt, die nach dem Trockenverfahren arbeitet. Die Gastemperatur beim Eintritt in den Dampfkessel ist also verhältnismässig hoch.

Bei der Vorrichtung nach Abb. 5 (Seite 1359) dient ebenfalls Dampf als Wärmeübertragungsmittel, hier wird jedoch der Dampf im Kreislauf geführt. Der Schlamm gelangt zunächst in einen Vorwärmer, wo er auf eine Temperatur von etwa 100° gebracht wird. Dann wird der Schlamm unter Druck in einer Trockentrommel versprüht, durch die im Gegenstrom überhitzter Dampf von ungefährt 400° geschickt wird. Der Dampf nimmt das Wasser aus dem Schlamm auf, reichert sich also mit Wasser an. Dabei fällt seine Temperatur bis nahe zum Sättigungspunkt. Die Dampfmenge wächst dabei um die Menge des aus dem Schlamm verdampften Wassers. Nach Ausscheidung des vom Dampf mitgerissenen Staubes wird ein Teil davon in einen im Weg der Abgase des Ofens liegenden Überhitzer gepumpt, von wo er wieder in die Trockentrommel gelangt, der Rest, der dem Schlammwasser entspricht, wird in einen besonderen kleinen Überhitzer gezogen und fliesst von dort einer Kondensationsdampfmaschine zu. Die Abgase des Ofens durchziehen zunächst den kleinen Überhitzer für den Dampfmaschinendampf, hernach den Hauptüberhitzer für den Umlaufdampf und schliesslich den Schlammvorwärmer. Auf diesem Wege können die Abgase bequem bis auf etwa 200° abgekühlt werden. Die Abgase kommen mit dem Gut überhaupt nicht in Berührung, sondern nur mit den Überhitzern und dem Vorwärmer. Ein Verbrennen der eisernen Überhitzerrohre ist nicht zu befürchten, da sie wirksam von innen durch den Dampf gekühlt werden. Auch ist ohne weiteres eine weitgehende Ausnutzung der Abgaswärme möglich.

Theoretisch arbeitet also die Anlage ideal. Trotzdem ist sie meines Wissens nur einmal versuchsweise in Polen zur Ausführung gelangt. Schwierigkeiten bereitet natürlich die Staubausscheidung aus dem Wasserdampf. Die Hauptschwierigkeit dürfte aber in der übermässigen Staubentwicklung im Trockner zu suchen sein. Es sind dieselben Schwierigkeiten wie beim Schlammsprühverfahren. Werden die Gutteilchen in der Trockentrommel noch im Schwebzustand ausgiebig getrocknet, so werden sie von dem überhitzten Dampf in

grosser Menge mitgerissen. Der praktische Betrieb wird dadurch unmöglich gemacht. Lässt man aber die Guttropfen in noch feuchtem Zustande auf die Trommelwandung auftreffen, was durch Anwendung eines geringeren Druckes in der Düse oder einer kleineren Dampfmenge ohne weiteres möglich ist, so ist die Wärmeübertragungsfläche vom Auftreffpunkt bis zum Trockentrommelende sehr klein, die Trocknung ist praktisch mit dem Auftreffen auf die Wandung beendet, der Schlamm gelangt daher nur mässig eingedickt in den Ofen.

Zweifellos stellt die mittelbare Erwärmung und Eindickung des Schlammes einen Umweg dar, der nicht nur Wärmeverluste, sondern auch eine umständliche Anlage bedingt. An Versuchen, den Rohschlamm durch unmittelbare Berührung mit den Abgasen zu trocknen, hat es daher nicht gefehlt. Unter der grossen Zahl der Versuche in dieser Richtung, die gerade in den allerletzten Jahren unternommen wurden, seien hier nur einige aufgeführt, die grundsätzlich verschiedene Wege gehen. Allen gemeinsam ist nur das Bestreben, die Eindickung des Schlammes in eine besondere Vorrichtung vor dem Ofen zu verlegen.

So bedient sich die Anlage nach Abb. 6 (Seite 1360) eines Scheibentrockners. Eine Reihe von Scheiben sind auf einer oder mehreren wagerechten Wellen befestigt. Bei mehreren Wellen sind die Scheiben versetzt zueinander angeordnet, sie stehen auf Lücke. Unten tauchen die Scheiben in einen Schlamm-bottich ein und nehmen den Schlamm mit hoch. Die oberen Hälften der Scheiben liegen im Strom der Ofenabgase, die parallel zu den Scheibenflächen hindurchströmen und das an ihnen haftende Gut trocknen. Das angetrocknete Gut wird von Abstreifern entfernt und entweder zurück in den Schlammbehälter oder unmittelbar in den Ofen gefördert. Zum Fördern des Dickschlammes aus dem Bottich dient eine Schnecke. Zweckmässig bewegt man die Scheiben so, dass die Gase im Gegenstrom zu dem zu trocknenden Gut fliessen.

Die Vorrichtung hat keinen sonderlichen Erfolg gezeitigt. Das liegt an verschiedenen Umständen. Einmal müssen die Scheiben einen ziemlich grossen Durchmesser erhalten, wenn eine genügend grosse Wärmeübertragungsfläche erzielt werden soll. Der Gasweg an den Scheiben entlang ist verhältnismässig gross und die Gase finden an dem Gut einen grossen Reibungswiderstand. Ausserdem besteht genau wie bei Ketten die Gefahr, dass die Scheiben bei stärkerer Eintrocknung des Gutes verbrennen. Alle diese Umstände zusammen bedeuten, dass die Vorrichtung gegenüber anderen Eindickvorrichtungen sich nicht durchsetzen kann.

Beim Brennen von Zement nach dem Trockenverfahren hat sich bekanntlich in letzter Zeit das Lellepverfahren erfolgreich durchgesetzt, bei dem das etwa 10% Wasser enthaltende Rohgüt zu Kügelchen verformt und dann einem Wanderrost aufgegeben wird, durch den die Abgase des Ofens gesaugt werden. Dieses Verfahren zeichnet sich besonders durch niedrige Abgastemperaturen hinter dem Wanderrost aus. Es lag daher nahe, dasselbe auch für das Brennen von Schlamm weiter auszubilden. Tatsächlich sind mehrere Vorschläge dieser Art gemacht worden. Die meisten laufen darauf hinaus, den Schlamm in irgend einer Vorrichtung vorzutrocknen, dann zu Kügelchen zu verformen und weiter wie beim Lellepverfahren zu verarbeiten. Es ist klar, dass dieser Vorschlag an den eigentlichen Schwierigkeiten vorbeigeht, denn diese liegen gerade in einer geeigneten störungsfrei arbeitenden Vorrichtung, den Schlamm unter Aufwand einer möglichst geringen Wärmemenge einzudicken.

Um aus diesen Schwierigkeiten herauszukommen, wird bei der Anlage nach Abb. 7 (Seite 1361) vorgeschlagen, den Schlamm zunächst mechanisch auf etwa 25% Wassergehalt einzudicken. Er ist dann in einen pastenförmigen Zustand übergegangen, d.h. er ist nicht mehr fließfähig, aber auch noch nicht krümelig, sondern weich wie Butter. Immerhin lässt er sich schon zu Würstchen oder

dgl. verformen, die nur mässig zusammenbacken, wenn sie in dünner Schicht ausgebreitet liegen. Bei der Vorrichtung nach Abb. 7 wird der höchstens 25% Wasser enthaltende Schlamm in dieser Weise vorbehandelt und dann einem Ringrost aufgegeben, der aus dicht bei einander liegenden, radialen Roststäben besteht und sich langsam um seine senkrechte Antriebswelle dreht. Die schon vorher ziemlich weit abgekühlten Abgase des Ofens streichen im Gegenstrom über den Rost und setzen dabei die Trocknung des Dickschlammes weiter fort. Wenn der Ringrost eine Umdrehung vollendet hat, ist das Gut soweit getrocknet, dass es krümelig ist. Ein Zusammenbacken der einzelnen Teilchen ist dann also nicht mehr zu befürchten. Der Kuchen wird durch geeignete Stossvorrichtungen durch die Rostspalten hindurchgestossen und fällt auf einen zweiten, darunter befindlichen Ringrost, der vorzugsweise aus treppenförmig übereinander liegenden Rostringen besteht. Auch auf diesem Rost bleibt das Gut während einer Rostumdrehung liegen. Scheitert es durch die frischen Ofenabgase, die ebenso wie beim verfahren von oben nach unten durch den Rost gesaugt werden. Auf dem Rost wird die Trocknung des Gutes beendet und die Entsäuerung beginnt. In der üblichen Weise wird das Gut von dem unteren Rost abgestreift und in den Drehrohrofen zum Fertigbrennen gefördert. Die Abgase des Ofens streichen zunächst durch den unteren Rost hindurch und werden dann durch eine in der Zeichnung nicht dargestellte Umleitung über den oberen Rost geleitet. Diesen sollen sie mit einer Temperatur von nur etwa 100° verlassen.

Fraglich ist bei dieser Vorrichtung, ob es gelingt, auf dem oberen Rost eine nennenswerte Trocknung des Gutes zu erreichen. Es wird daher wohl darauf hinauslaufen, nur gut eingedickten Schlamm auf den oberen Rost zu bringen. Die Eindickung muss also zum grossen Teil in der mechanisch arbeitenden Eindickvorrichtung, etwa einem Filter, erfolgen. Über die Möglichkeiten in dieser Hinsicht soll weiter unten noch berichtet werden.

Bekanntlich ist das oben schon erwähnte Lellepverfahren nur für trockenes Gut geeignet, da man die Gase wohl durch krümeliges Gut, aber nicht durch flüssiges Gut hindurchsaugen kann. Auch würde der Schlamm durch die Rostspalten hindurchfallen. Um den Schlamm krümelig zu machen, geht die Vorrichtung nach Abb. 8 (Seite 1362) einen eigenartigen Weg. Der Schlamm wird mit festen Körpern, beispielsweise Schamottebrocken gemischt. Er wird also gewissermassen aufgelockert. Die Schamottebrocken sollen den Gasen einen Weg freihalten. Als Vortrockenvorrichtung dient ein Schacht, dem oben vorgewärmte Schamottebrocken und Schlamm aufgegeben wird. Unten ist der Schacht durch siebartige Wände abgeschlossen, durch die die Abgase des Ofens in den Schacht eintreten können, während das Schamottebrockenschlammgemisch zwischen den Siebwänden hindurch einer Siebtrommel zugleitet, in der der getrocknete Schlamm von den Schamottebrocken getrennt wird. Der getrocknete Schlamm wird durch eine Fördervorrichtung in den Drehrohrofen geführt, während die Schamottebrocken wieder dem Schacht aufgegeben werden. Sie führen also einen ständigen Kreislauf aus. Ihre Höchsttemperatur kann nicht mehr als 100° betragen, da der Schlamm beim Verlassen des Schachtes immer noch mindestens Spuren von Wasser enthalten soll. Die Wärmeverluste durch die Schamottebrocken können daher nicht gross sein, sie beschränken sich auf die Abstrahlung bei der Förderung von der Siebtrommel zum oberen Ende des Schachtes.

Die Konstruktion muss als aussichtsreich bezeichnet werden. Die Trennung der Schamottebrocken von dem Schlamm dürfte keine grossen Schwierigkeiten bereiten, zumal es auf eine sorgfältige Trennung der beiden Bestandteile nicht ankommt. Die Hauptfrage ist, welche Schlammengen die Schamottebrocken

aufnehmen können, ohne dass der Gasdurchgang durch den Schacht übermässig behindert wird bzw. einen zu grossen Kraftaufwand für das hinter den Schacht anzuordnende Gebläse erfordert. Auch könnte der Fall eintreten, dass der Schlamm von den Schamottebrocken nicht in genügendem Masse festgehalten wird, dass also der Schlamm durch den Schamottehaufen hindurchläuft, bevor seine Trocknung beendet ist. Ferner besteht die Gefahr, dass die den Schacht unten abschliessenden Siebwände in kurzer Zeit von dem in den Ofenabgasen stets vorhandenen Staub verstopft werden. Alle diese Schwierigkeiten stellen aber keine unüberwindlichen Hindernisse dar. Man kann beispielsweise die Grösse der Schamottebrocken und damit ihre Aufsaugfähigkeit für Schlamm verändern, man ist auch nicht auf Schamottebrocken angewiesen, auch Metallkörper geeigneter Form oder Zementklinker kommen in Frage. Schliesslich ist man auch nicht an die Schachtform gebunden, man könnte auch andere bekannte Einrichtungen benutzen.

Die Benutzung von mechanischen Entwässerungsanlagen zum Vortrocknen des Rohschlammes ist oben schon gestreift worden. Die ältesten Versuche dieser Art sind anscheinend die von Ritter-Zahony in der Weissenegger Portlandzementfabrik in Obersteiermark in Österreich. Diese Versuche sind schon vor dem Kriege erfolgreich durchgeführt worden, man bezeichnete in der Folge das Verfahren als Dickschlamm-trockenverfahren. Man ging dabei folgendermassen vor. Der Schlamm wurde in Filterpressen bis auf etwa 15% Wassergehalt entwässert und darauf einem gewöhnlichen Drehrohrofen aufgegeben. Die Schlammkuchen wurden vor Aufgabe in den Ofen nur mässig zerkleinert und es zeigte sich, dass dies die Staubentwicklung im Ofen wirksam verhinderte. Die Brocken blieben während der Reise durch den Ofen zum überwiegenden Teil in ihrer Form erhalten bzw. wenigstens in krümeligem Zustand. Die Abgastemperatur von 420°, die man damals in einem 30 m langen Ofen erreichte, interessiert heute nur noch wenig.

Eine schematische Anordnung der Anlage mit geringen Änderungen zeigt die Abb. 9 (Seite 1363). Die Filtereinrichtung ist über dem Ofenkopf angeordnet. Von hier gelangt der 15-20% Wasser enthaltende Gutkuchen in eine Strangpresse, deren Mündungsrohr quer durch den Ofenkopf hindurchgeführt ist und die den Gutstrang unmittelbar in den Drehrohrofen fördert. Der Strang bricht am Mundstück in kurze Stücke, sodass etwa faustgrosse Knollen in den Ofen gelangen. Die Anordnung einer Strangpresse hat den Zweck, Gutstücke grösserer Festigkeit und annähernd gleichmässiger Grösse zu erhalten, was die Gleichmässigkeit des Erzeugnisses und die Vermeidung der Staubentwicklung auch bei stark zum Abbröckeln neigenden Gut gewährleistet.

Leider zeigte sich in der Folgezeit, dass das Dickschlamm-trockenverfahren nur für wenige Rohstoffe geeignet ist. Die mechanische Entwässerung in Filterpressen oder anderen Einrichtungen gelingt nämlich in allen den Fällen nicht, in denen das Wasser in kolloidalem Zustande im Rohgut vorhanden ist. Das ist aber meistens so. In Deutschland hat sich das Verfahren daher nicht einführen lassen, in den meisten anderen Ländern ebenfalls nicht. Immerhin ist zu erwähnen, dass es doch in einigen Fällen erfolgreich zur Durchführung gelangt ist, so z. B. bei einer Anlage neuesten Datums der Arkansas Portland Cement Co. in Arkansas (U.S.A.). Man arbeitet hier mit einem Rohschlamm von 50% Wassergehalt. Die Entwässerung im Filter erfolgt hier bis auf 28-29% Wasser. Da dieser Feuchtigkeitsgehalt noch eine gewisse Plastizität des Gutes bedingt, ein Zusammenbacken des Gutes also im Ofen zu befürchten ist, hat man im oberen Ende des Drehrohrofens messerartige Vorsprünge eingebaut. Sie bestehen aus kurzen radialen Blechen von etwa 30 cm Höhe, die gleichzeitig die Aufgabe haben, die sich bildenden Zusammenballungen im Gut

zu zerstören und dasselbe von Ofeneintritt fortzuführen. Zu dem Zweck sind sie schraubenförmig angeordnet. Im ersten Ausbau ist ein Drehrohrofen von etwa 90 m Länge und $3\frac{1}{2}$ m Durchmesser vorgesehen und es ist beabsichtigt, später zwei weitere Einheiten hinzuzufügen.

Auch die zuletzt genannte Anlage arbeitet noch mit einem offenen Drehrohr. Ihre Wärmewirtschaftlichkeit ist daher nicht besonders gut. Die Anlage entspricht auch in dieser Hinsicht nicht mehr dem neueren Stand der Technik. Es liegt vielmehr nahe, bei Anlagen, die den Schlamm vor der Einbringung in den Ofen in einen festen Kuchen verwandeln, einen der neueren Öfen zu verwenden, die vom Trockenbrennen her bekannt sind und die Abgase bis auf nahezu 100° ausnutzen, also beispielsweise einen Lellepofen. Es können selbstverständlich bei der Anlage in Arkansas Gründe vorliegen, die die Anordnung eines glatten Drehrohrs mit seiner schlechteren Brennstoffausnutzung wirtschaftlich rechtfertigen. Beispielsweise kann ein sehr billiger Brennstoff (Naturgas) vorhanden sein, sodass die gute Wärmeausnutzung des Brennstoffes zwecklos erscheint. Zu bedenken ist allerdings, dass ein Ofen von 90 m Länge auch nicht gerade billig ist.

Der Vorschlag, bei einer Anlage mit Filter zur Voreindickung des Schlammes einen kombinierten Wanderrost-Drehrohrofen zu verwenden, liegt bereits vor. Die Anlage ist in der Abb. 10 (Seite 1364) schematisch dargestellt. Das Rohgut durchläuft zunächst einen Filter, gelangt dann in eine Frommel, wo durch Abrollen der Gutkuchen in kleine Kügelchen verwandelt wird. Falls das Gut beim Verlassen des Filters noch etwas zu feucht ist, kann man ihm trockenes Mehl beimischen. Es genügt eine kleine Menge, die man aus einer unmittelbar hinter dem Drehrohrofen angebrachten Staubkammer entnehmen kann, sodass die Anlage einer besonderen Mühle usw. zur Herstellung des Trockenmehls sich erübrigt. Alsdann wird das Gut einem Wanderrost aufgegeben und gelangt schliesslich über eine Rutsche in den Drehrohrofen. Leider eignen sich, wie oben schon ausgeführt wurde, die Filter nur selten zur Verarbeitung von Zementschlamm. Sonst würden diese Anlagen wohl die Ideallösung beim Schlamm-brennen sein.

Zum Schluss sollen noch zwei Verfahren erwähnt werden, die das Voreindicken von Schlamm auf sehr einfache Weise zu erreichen suchen. Bei dem ersten Verfahren wird der heisse Klinker unter Vermeidung eines Kühlers mit dem nassen Schlamm zusammen in eine Mischschnecke gebracht. Die Wärme des gebrannten Klinkers dient also zur Verdampfung des Schlammwassers. Wenn der Wärmeaustausch beendet ist, trennt man die beiden Bestandteile wieder in einer geeigneten Siebinrichtung. Wenn dabei Teile des Klinkers in dem eingedickten Schlamm verbleiben, so ist dies unbedenklich, denn auf die Güte des Erzeugnisses hat es keinerlei Einfluss, wenn einzelne Teile zweimal gebrannt werden. Dass Teile des Schlammes am Klinker haften bleiben können, ist weniger angenehm. Man muss daher nach der Absiebung den Klinker mit Wasser abspritzen. Das Wasser kann dann zum Schlamm anmachen dienen.

Die Berechnung zeigt zunächst, dass die Klinkerwärme bestenfalls dazu reicht, einen Teil des Schlammwassers zu verdampfen. Abgesehen davon benutzt man aber bei neueren Drehrohrofenanlagen durchweg die Klinkerabwärme dazu, die Verbrennungsluft vorzuwärmen. Die Benutzung der Klinkerabwärme zum Schlammeindicken ist also nicht umsonst. Es handelt sich nicht um eine Wärmequelle, die wie die Abgaswärme sonst nutzlos in die Esse entweicht. Auch bietet die Vorwärmung der Verbrennungsluft sonstige Vorteile. Die Zündung des Brennstoffes erfolgt schneller, die Temperatur im Verbrennungsraum ist höher. Man kann daher einen geringwertigeren Brennstoff benutzen. Auf alle diese Vorteile muss man verzichten, wenn man die

Klinkerabwärme zum Schlamm eindicken benutzt. Auch dieses Verfahren hat sich daher in die Praxis nicht einführen lassen.

Schliesslich ist noch der Vorschlag gemacht worden, den Schlamm durch Beimischen von trockenem Rohmehl in krümeliges Gut zu verwandeln. Es kommt hier darauf an, was man erreichen will. Soll der übliche, etwa 40% Wasser enthaltende Schlamm bis auf 20% Wasser gebracht werden, so muss man annähernd zwei Drittel des Rohgutes trocken aufbereiten. Damit gehen praktisch alle Vorteile der Nassaufbereitung verloren. Diese Massnahme scheidet also von vornherein aus. Man ging aber weiterhin von der Erkenntnis aus, dass beim Trockenverfahren im gewöhnlichen Drehrohrofen die Temperatur der Abgase rund 800° beträgt, beim Nassverfahren dagegen nur rund 400°. Dabei ist der Brennstoffbedarf beim Nassverfahren erheblich höher. Man schlug daher vor, dem Schlamm nur eine kleinere Menge trockenes Rohmehl beizumischen, und zwar soviel, wie man mit dem Temperaturabfall der Abgase von 800° bis 400° verdampfen kann. Man nahm also an, dass man bei um diesen Betrag eingedickten Schlamm ebenfalls eine Abgastemperatur von 400° erreichen kann. Das trifft aber keineswegs zu. Vielmehr richtet sich die Abgastemperatur bei gegebener Ofenlänge und gegebener Leistung nach dem Wassergehalt des Rohgutes. Auch bleibt bei Zumischung dieser kleineren Menge Trockenmehl der Übelstand bestehen, dass man eine Nassaufbereitungs- und eine Trockenaufbereitungsanlage nebeneinander betreiben muss, abgesehen davon, dass die Güte des Erzeugnisses durch die Beimischung auch einer kleineren Menge trocken aufbereiteten Gutes leiden muss. Entscheidend ist dabei nicht, dass das trocken aufbereitete Gut an sich einen geringwertigeren Rohstoff darstellt, sondern dass man nicht in der Lage ist, die beiden Massen einwandfrei zu mischen. Die Nachteile dieses Verfahrens überwiegen daher seine Vorteile.

Die vorstehenden Betrachtungen sollten zeigen, dass das Ziel aller dieser Massnahmen die Schaffung eines einwandfrei arbeitenden und mit erträglichen Kosten verbundenen Verfahrens zum Brennen von Zement mit Schlamm als Rohstoff ist, das wärmewirtschaftlich ähnlich günstige Ergebnisse liefert wie die neueren Trockenbrennverfahren. Es sollte weiter gezeigt werden, dass man bis auf einige Sonderfälle von nur örtlicher Bedeutung dieses Ziel noch nicht erreicht hat. Einige Erfolg versprechende Ansätze sind allerdings schon vorhanden.

Der "Rotary Fluxo"-Packer.

Der "Rotary Fluxo"-Packer ist eine Maschine, die dazu bestimmt ist, Zement, gemahlenen Kalk, gemahlene Phosphate, Soda, und ähnliche feingemahlene Materialien in Ventilsäcke aus Papier oder Jute zu packen und zu wiegen.

Nach erschöpfender Berücksichtigung aller zum wirtschaftlichsten Packen erforderlichen Kennzeichen, wurde die Aufmerksamkeit auf folgende Punkte konzentriert: (1) Verkleinerung der Sackgrösse, (2) Genaues Wiegen, (3) Reduktion der Lohnkosten, (4) Steigerung der per Stunde und Arbeiter gepackten Sackzahl auf 1200-1400 und (5) Konstruktion einer Maschine ohne schnellbewegliche Teile.

Um zu verhindern, dass während des Füllens Luft in den Sack gesogen wird, ist der "Rotary Fluxo"-Packer mit zehn Zuflussrohren versehen worden. Obwohl die Maschine 1200 bis 1400 Säcke füllt, ist die Zeitdauer des Füllens von jedem Sack länger als üblich.

Der "Rotary Fluxo"-Packer unterscheidet sich in seiner Konstruktion wesentlich von sämtlichen anderen Arten von Ventilpackmaschinen. Das zu

packende und zu wiegende Material wird durch eine geringe Menge Pressluft in Verbindung mit einer automatisch arbeitenden Rührvorrichtung in fließenden Zustand gebracht und fließt dann vermöge seine Schwerkraft durch die Füllrohre in die Säcke. Durch Aufrechterhalten eines konstanten Niveaus im Füllbehälter kann der Strom derart genau reguliert werden, wie wenn das Material eine richtige Flüssigkeit wäre.

Um die grösstmögliche Menge in die Säcke, zu bringen, findet deren Füllung in zwei Phasen statt. Im ersten Stadium wird der Sack fast gefüllt. Er wird dann durch kleine Klopfer an der Aussenwand geschüttelt, die veranlassen, dass die Luft entweicht, das Material sich setzt und den minimalmöglichen Raum einnimmt. Hiernach erfolgt die zweite Füllung, und wenn das richtige Gewicht erreicht ist, fällt der Hebel, an dem der Sack aufgehängt ist, herab, und der Zufluss von Material wird unterbrochen. Der Sack wird automatisch vom Packer abgegeben.

Wie aus Abb. 1 (Seite 1254) zu ersehen ist, enthält die Maschine einen zylindrischen Zufuhrbehälter, an dem die Füllrohre angeordnet sind. Der Behälter rotiert um seine eigene Achse, und jedes Füllrohr passiert den bedienenden Mann, dessen einzige Arbeit darin besteht, die leeren Säcke an die Füllrohre zu setzen. Ein Arbeiter kann bequem 1200 bis 1400 Säcke bewältigen.

Bei einigen Packmaschinen können die Arbeiter einen Hebel bedienen, bevor der Sack ganz gefüllt ist, was die Genauigkeit des Wiegens beeinflusst. Die Leistung des "Rotary Fluxo"-Packers wird indessen durch die Geschwindigkeit der Maschine bestimmt und nicht durch die Fertigkeit des bedienenden Arbeiters. Das genaue Gewicht kann nicht gestört werden, da die Säcke automatisch abgehängt werden, bevor sie in die Nähe des bedienenden Arbeiters gelangen.

Die Maschine gibt die Säcke an eine Schütte ab, von der sie direkt zu den Waggons gelangen können oder zu einem Bandtransporteur, der sie zum Waggon, zur Lore oder zum Schiff befördert. Es wird behauptet, dass diese Packmaschinen billigere Säcke, Genauigkeit des Gewichts, höchste Leistung und niedrige Arbeitskosten gewährleisten. Abb. 2 (Seite 1255) zeigt den Transporteur von der Packanlage zur Versandabteilung, und Abb. 3 (Seite 1255) gibt die Versandabteilung selbst wieder. Die Maschine wird von der Firma F. L. Smidth & Co. hergestellt.

Fortschrittsberichte über Zement im Jahre 1930—III.

von OTTO FR. HONUS.

NACH Versuchen von H. Richarz³³ liegen die Zugfestigkeiten der Trassportlandzemente teils über, teils unter denen von Portlandzement. Die Erhöhungen finden meist in Gegenwart von Normalsand statt und sind auf die bessere Porenausfüllung durch den feingemahlten Trass zurückzuführen. Die Druckfestigkeiten liegen meist unter denen der entsprechenden Portlandzemente. Trass wird vorzügliche Wirkungen entfalten, wenn er mit besonders kalkreichen Klinkern vermahlen wird.

A. A. Bado³⁴ untersucht den Einfluss des Zusatzes von Puzzolanen (30-50%) auf Portlandzement und konnte in keinem Falle eine nachteilige Wirkung des Zusatzes beobachten.

³³ "Zement," 19, S. 120-123, 144-48, 1930.

³⁴ "Annales. Assoc. quim.," Argentina, 17, S. 216-220.

Zerstörung: Durch Herauslösen des Kalkes aus dem Zement durch Röh Zuckerlösung hat Th. Merriman⁸⁵ die Zerstörung durch Sulfatlösung nachgeahmt. Um die Verhältnisse bei einer angreifenden Sulfatlösung zu treffen, muss auch der Zuckerlösung eine Menge Kalk vorher zugesetzt werden. Bei der Titration des Kalkes mit Methylorange erhält man höhere Werte, als mit Phenolphthalein, weil der an SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 gebundene Kalk mittitriert wird. Dieser Unterschied entspricht auch den Unterschieden der Zemente im chemischen Angriff und es wird deshalb vorgeschlagen, diesen Unterschied in der Titration abzu erkennen. Die Dauerhaftigkeit ist abhängig vom Tonerdegehalt, was an 32 Zementen erprobt wurde.

Neuerungen an Ofenkonstruktionen.

Die Krupp-Grusonwerke A.G.⁸⁶ schlagen vor, Schmelzzement in einem Ofen herzustellen, der dadurch gekennzeichnet ist, dass eine oder mehrere Gutsäulen auf dem Boden einer Brennkammer abgebösch werden, in welcher eine Heizflamme auf die Böschungsoberfläche einwirkt, wobei die Abgase der Heizflamme ausserhalb der Hauptflammenzonen liegenden Stellen der Brennkammer durch deren Wandungen hindurch in die Beschickungssäule ein, und dann durch die Säule hindurch abgeleitet werden. Als Vorrichtung dient ein Schachtofen, der zwei oder mehrschenkelig ausgebildet ist und eine zwischen den Schenkeln angeordnete Brennkammer besitzt. Im unteren Teil stehen Schenkel und Brennkammer in Verbindung. Es soll durch die Neuerung vermieden werden, das Zusammensintern des Gutes an der Oberfläche der Beschickung. Nach St. Kohut⁸⁷ erfolgt das Brennen von Schmelzzement in 2 unter Zwischenspaltung einer Verteilungsvorrichtung miteinander gekoppelten Ofen. In dem ersten wird die Rohmischung durch die Abgase des zweiten Ofens vorgewärmt, in welchem das Schmelzen geschieht. Um bei der Vorwärmung Erweichung der Masse zu verhindern, werden den Heizgasen aus dem zweiten Ofen abkühlende Stoffe, z.B. Abgase des Vorwärmofens, Wasserdampf o.dgl. zugemischt. Die Soc. An. des Chaux et Ciments de Lafarge et du Teil, Frankreich, schlägt vor, der durch die Abgase des Schmelzzementverfahrens geheizten Zuführungsvorrichtung gemäss dem Hauptpatent⁸⁸ mehrere Flammöfen⁸⁹ anzuschliessen, in welchen die Zementmischung geschmolzen wird. Gemeinsam mit der Soc. d'Electro-Chimie, d'Electro-Metallurgie et de Acieries Electriques d'Ungine⁹⁰ bewirken sie das Brennen von Zement so, dass die Rohstoffmischung einem senkrecht angeordneten Ofen von oben her zugeführt, der von einem seitlich angeordneten Herd aus mit Feuergasen beheizt wird, welche die Rohmischung vorerhitzen und entkohlen. Mit dem unteren Ende dieses senkrechten Ofens ist ein horizontal angeordneter elektrischer Ofen verbunden, in dem das entkohlte Gut gesintert und gebrannt wird. Um gleichmässige hochwertige Erzeugnisse von gleichmässiger Zusammensetzung zu erhalten, schlägt E. Moyat⁹¹ vor, die feingemahlten Ausgangsstoffe mit Brennstoff zusammen in einen Reaktionsraum zu blasen, wobei die Rohmischung in der Verbrennungsflamme zum Schmelzen gebracht wird. Das Schmelzgut gelangt auf einen rotierenden Zylinder und die auf diesen entstehenden Krusten werden abgeschält und in üblicher Weise zerkleinert. Das Schmelzen von Zement erfolgt nach G. Polysius⁹² in einem Speicherraum, der im hinteren Teil des Drehofens durch Durchmessererweiterung gebildet ist, in den das Brenngut hineingeleitet wird, bevor es zu erweichen beginnt, und in dem auch eine Durchmischung des

⁸⁵ "Engin. News-Record," 104, S. 62-64, 1930.

⁸⁶ Franz. Pat. 685027 u. D.R.P. 576859.

⁸⁷ Franz. Pat. 36403.

⁸⁸ D.R.P. 511521.

⁸⁹ D.R.P. 490758.

⁹⁰ Franz. Pat. 571329 (1924).+

⁹¹ Franz. Pat. 683037.

⁹² Oesterr. Pat. 118717.

Schmelzgutes erfolgt. In diesem Speicherraum können Flussmittel eingeführt werden, Gleichmässig und gut gebrannte Zemente erhält A. Bues⁹³, Berlin, in einem Schachtofen durch Einblasen von Rohschlamm durch eine von oben nach unten gerichtete Düse. Die Einblasung von Brennstoff und Luft erfolgt in unteren Teil des Ofens durch eine von unten nach oben gerichtete Düse.

R. D. Pike⁹⁴ berichtet über das mehrstufige Brennen von Portlandzement-Klinker, beschreibt Anlagen, in denen die Austreibung der Kohlensäure und des Wassers (Calcinierung) in Schachtofen und der Brand zum Klinker in anschliessenden Drehöfen vorgenommen wurde. Von den 3 beschriebenen Anordnungen: 1. Schachtofen in Verbindung mit Drehofen, 2. Zwei Schachtofen, die einzeln an je einem Drehofen angeschlossen waren, wobei die Abgase des Drehofens durch den Schachtofen zogen und 3. dieselbe Anordnung, wobei die Ueberschusshitze in einem Kessel ging und eine Potasche-Anlage angeschlossen war, arbeitet die letzte am wirtschaftlichsten. Einen Drehofen, bei welchem mehr als die Hälfte des Ofenquerschnittes ausgefüllt ist, hat sich A. Nilson⁹⁵, Norwegen, schützen lassen.

Aus Phosphoriten, Bauxit und Kohle erhält W. Schroeder⁹⁵, Berlin, durch Brennen im Etagen-, Kammer-, Ring-oder ähnlichen Ofen Phosphorsäure und Zement. Zum Zwecke der Schmelzzementherstellung im Drehofen ordnet A. Andreas⁹⁷, Münster, an der Grenze zwischen Entsäuerungs- und Schmelzzone einen verschiebbaren Stauring an. Zu demselben Zweck verwendet die Vereinigte Ziegel- und Cement-Fabriks A.G.⁹⁸, Budapest, einen Etageofen und einen nach der Schmelzzone des Schachtofens geschalteten Flammofen mit je einer selbstständigen Heizstelle und gemeinsamen Abzug für der Verbrennungsgase.

Das Auslassende des Drehofens von J. S. Fasting⁹⁹, Kopenhagen, ist von einem Kranz von Kühltrommeln umschlossen, die über das Ofenende hinausragen. Das Ofenrohr ist in seiner Wandung mit rostartig wirkenden Auslässen für das Gut versehen, welche durch Kanäle mit den Kühltrommeln verbunden sind.

Der Schachtofen von A. Ch. Davis¹⁰⁰, London, gehört zu derjenigen Gattung, bei welcher der Rohstoff von unten nach oben eingeblasen wird und in Gestalt einer Wolke wieder nach unten fällt.

Verschiedenes.

A. Weissmann¹⁰¹, der dem Zementrohmehl am Ofeneinlauf Flugstaub zusetzte, stellte fest, dass dieser ohne wesentliche Mischung mit dem Klinker wieder aus dem Ofen herauswanderte und schlägt deshalb vor, den Flugstaub dem Rohmehl bei der Mischung zuzusetzen. Den Einfluss der Flussmittel auf den Zerteilungsgrad der Zementrohstoffe bei Nassmahlung, untersuchten P. P. Budnikow, G. W. Kukolew und W. M. Leschojew¹⁰². Nach ihren Ergebnissen hängt die Flüssigkeit des Dünnschlammes im weiten Masse von dem Zusatz von verflüssigenden Stoffen ab.

K. Biehl¹⁰³ stellt fest, dass von verschiedenen angewandten Zusätzen auf die Fliessbarkeit von Portlandzement, die Sulfitablauge eine besonders grosse verflüssigende Wirkung auf Dickschlamm ausübt.

⁹³ D.R.P. 505285.

⁹⁴ Ind. engin. Chem., 22, S. 148-152, 1930.

⁹⁵ D.R.P. 490799.

⁹⁶ D.R.P. 490803.

⁹⁷ D.R.P. 493841.

⁹⁸ D.R.P. 490759.

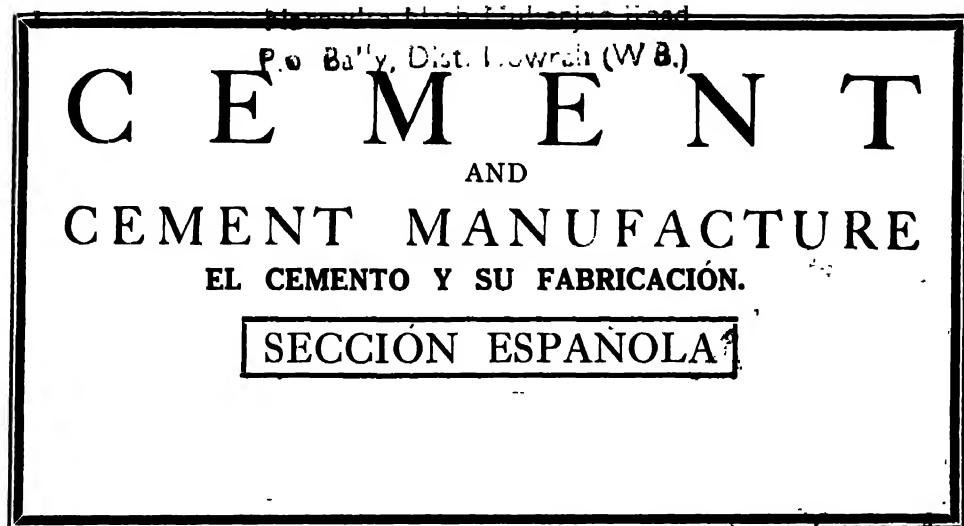
⁹⁹ D.R.P. 498505.

¹⁰⁰ D.R.P. 498406.

¹⁰¹ "Tonind. Ztg.", 54, S. 563, 1930.

¹⁰² "Zement", 19, S. 96, 1930.

¹⁰³ "Tonind. Ztg.", 54, S. 396-97, 1930.



Un anillo adherente de pasta, de 15 metros de longitud en un horno de 63 metros.

por O. FREY.

Los anillos adherentes formados en las zonas de clinkerización y de descarbonatación del horno rotatorio no constituyen ninguna rareza. Pero el caso que vamos a explicar ofrece un interés especial, en primer lugar por tratarse de un caso raro, y luego por las circunstancias en que se produjo.

Para poder apreciar debidamente las condiciones de conjunto en que se produjo el anillo en cuestión, expondré todas las circunstancias que pudieron cooperar en la formación de un anillo de tales dimensiones. Los elementos componentes que entran en las relaciones denominadas módulo hidráulico y módulo de silicatos eran las siguientes:

SiO ₂	..	..	..	..	..	..	14,18
R ₂ O ₃	..	..	..	..	..	..	3,95
CaO	..	..	..	..	..	..	43,69
Módulo hidráulico							Módulo de silicatos
2,41							3,50

Así pues como se ve ambas relaciones o módulos no se encontraban dentro de los límites normales requeridos por las propiedades del crudo, a causa, sobretudo, de lo elevado del módulo de silicatos, 3,50. Como directa consecuencia de este valor, tan elevado, el crudo necesitaba para clinkerizarse una temperatura muy alta que según se comprobó variaba entre 1529 y 1530 grados C.

La pasta preparada con las primeras materias era de naturaleza completamente normal con un residuo aproximado de 7 a 8% sobre el tamiz de 4900 mallas; llevaba un 36% de agua y su peso era de 1670 gramos por litro.

Esta temperatura tan elevada de clinkerización junto con lo difícil de desleir la masa cruda pudieron ser las circunstancias secundarias que favorecieron el que otras causas concomitantes dieran lugar a la formación de aquel anillo.

El cemento correspondiente tenía la composición siguiente :

SiO ₂	..	..	..	..	..	19,62
R ₂ O ₃	..	..	..	..	..	7,60
CaO	..	..	..	..	..	64,50
MgO	..	..	..	..	..	1,80
SO ₃	..	..	..	..	..	1,70
CO ₂ + H ₂ O	..	..	..	..	..	4,00
Res. alc.	..	..	..	..	..	0,88
Mód. sil.	..	..	..	..	..	2,58
Mód. hidr.	..	..	..	..	..	2,37

Por su módulo hidráulico, el cemento se halla, por consiguiente, inmediatamente por debajo de su límite de expansión. Vemos, por lo tanto, que se trata de un producto que se encuentra junto al límite máximo tolerable para la producción de cementos corrientes de primera calidad.

Otro de los datos relacionados con el proceso químico y que puede contribuir a interpretarlo y a comprender el modo como se produjo el anillo es la cualidad y composición de las cenizas del carbón quemado en el horno. Se empleaban un carbón de llama y un carbón semi-graso. Las cenizas de estos carbones tenían la siguiente composición :

				Carbón graso.	Carbón semi-graso.
SiO ₂	..	..	..	42,80	45,55
R ₂ O ₃	..	..	..	38,50	44,50
CaO	..	..	..	7,00	5,00
MgO	..	..	..	4,68	1,80
SO ₃	..	..	..	4,25	2,55
CO + H ₂ O	..	..	..	—	—
Res. alc.	..	..	..	2,77	0,60
CaSO ₄	..	..	..	7,22	4,33

Vemos, pues, que intervienen unas cenizas con dosis relativamente alta de yeso. El carbón graso contiene casi el doble que el carbón semi-graso antracitoso.

Las cenizas resultantes del carbón compuesto con ambas calidades tenía por consiguiente la siguiente composición :

SiO ₂	..	..	..	..	44,15
R ₂ O ₃	..	..	..	..	40,00
CaO	..	..	..	..	5,61
MgO	..	..	..	..	3,00
SO ₃	..	..	..	..	4,15
Res. alc.	..	..	..	..	3,09
Contenido de CaSO ₄	..	..	..	..	7,05

Esta dosis de CaSO₄ en las cenizas de carbón fué desde luego la causa directa de la formación de dicho anillo adherente de dimensiones tan excepcionales como son 15 metros de longitud.

Para que se comprenda mejor conviene exponer en forma de esquema la posición del anillo en cuestión (fig. 1, véase pág 1342; 1, dirección de la llama; 2, anillo adherente; 3, material rodante en el horno; 4, cadenas). Para una buena comprensión del fenómeno tener presente la posición de la llama con relación a la posición del material que rueda en el interior del horno.

Resulta ahora interesante evidentemente la composición de este anillo de dimensiones tan grandes y anormales. A este fin se extrajeron del mismo, y en cuatro

puntos diferentes, muestras o probetas; unas al principio, otras en medio, y otras al final del anillo. De la investigación se obtuvieron los siguientes resultados:

	Muestras anteriores.	Muestras centro (1).	Muestras centro (2).	Muestras posteriores.
SiO ₂	23,00	23,40	23,60	19,00
R ₂ O ₃	7,50	5,50	7,30	7,00
CaO	60,00	44,25	44,60	40,00
MgO	1,70	1,80	1,70	2,10
SO ₃	4,59	20,74	20,06	28,90
CO ₂ + H ₂ O ..	0,40	0,70	0,20	0,20
Res. alc... ..	2,21	3,61	2,54	2,80
Yeso	7,62	35,26	34,00	49,13

Examinando los precedentes resultados y el curso que sigue en ellos la dosis determinada de yeso (CaSO₄), sorprende el rápido crecimiento de la dosis en cuestión, que se mantiene hasta el final del anillo. El codo en el trazado de la curva correspondiente a la tercera extracción de muestras no parece seguir el curso natural de la misma. Es probable que en este caso haya escapado algún pequeño error cuya comprobación ulterior no fué posible ya por haberse limpiado el horno del anillo en el intervalo de tiempo transcurrido en las investigaciones. La observación concuerda con el hecho de que los gases de la combustión van siendo más abundantes en anhídrido sulfuroso y en yeso a medida que se va adelantando en el horno (en este caso).

En atención a la elevada temperatura del horno rotatorio el yeso tiene que encontrarse entre las cenizas del carbón y caer como una fina lluvia sobre el material en cocción, que va rodando por el interior del horno y por su fluidez debe facilitar el que la masa se vuelva pegajosa. El que el yeso, a causa de la elevada temperatura que reina en la zona de clinkerización, sea disociado totalmente o en parte, o bien en atención al cortísimo período de tiempo que dura su paso, llegue a producir su efecto sin disociarse, son cuestiones de índole secundaria, cuya solución real y verdadera en nada puede afectar al proceso general. Como es sabido, el límite de disociación del yeso corresponde a una temperatura de 1400° C., temperatura rebasada con exceso dentro del horno. La temperatura necesaria para que se produzca la disociación parcial era, pues, de sobras la que existía en el horno, faltando sólo que el tiempo empleado en recorrer el espacio comprendido entre el extremo de la llama y el anillo permitiese la iniciación de dicha reacción suficientemente.

Examinando la dosis de sílice y sesquióxidos que ofrece el análisis del material del anillo yesoso, observaremos que en él entra una proporción muy débil de los restantes elementos componentes de las cenizas.

Anillo formado en la zona de clinkerización.

Análisis.				
SiO ₂ .. ..	..	..	..	29,00
R ₂ O ₃ .. ..	..	..	..	19,00
CaO .. ..	..	..	..	48,00
MgO .. ..	..	..	..	1,40
SO ₃ .. ..	..	..	..	Indicios.
CO ₂ + H ₂ O ..	..	..	..	0,60
Res. alc. ..	..	..	..	2,00

La causa de este anillo en la zona de clinkerización fué la influencia de las cenizas del carbón, en las cuales, y a consecuencia de la enérgica acción de la llama del mechero, se disoció todo el yeso. La materia adherida se hallaba

efectivamente exenta por completo de anhídrido sulfúrico. Resulta interesante, desde el punto de vista del examen de estos procesos, la comparación que ofrecemos a continuación :

			Adherencia de yeso.	Anillo adherente	Cemento
			Final.	de clinker.	puro?
SiO ₂	..	..	19,00	29,00	19,76
R ₂ O ₃	..	..	7,00	19,00	7,17
CaO	..	..	40,00	48,00	67,33
MgO	..	..	2,10	1,40	2,22
SO ₃	..	..	28,90	Indicios.	2,19
CO ₂ + H ₂ O	..	..	0,20	0,60	—
Res. alc...	..	..	2,80	2,00	1,33

Para terminar el artículo, es necesario todavía hacer observar que el horno estaba equipado con ventilación o tiro artificial. Contribuyó también a la formación de esas adherencias de yeso, que rara vez se producen, el ambiente favorable, que avanza hacia más adentro del horno que de ordinario, a causa del alargamiento de la llama, transformada por efecto del ventilador en un dardo prolongado. Además hay también que hacer notar, y esto podría ser asimismo una explicación, que el horno trabajaba con notable exceso de aire, por encima del necesario para las condiciones de su funcionamiento.

La evitación de tales adherencias, que evidentemente perjudican y perturban mucho el funcionamiento del horno, sólo se puede lograr mediante la eliminación de las causas de origen, que estribaría en este caso en cambiar de carbón, substituyéndolo por un combustible cuyas cenizas no contuviesen sulfato alguno.

Efecto del yeso en la estabilidad de volumen del clinker alto en cal¹

por O. GOFFIN y G. MUSSGUG.

Es sabido generalmente que la estabilidad de volumen del clinker de cemento Portland puede ser mejorada en determinada medida por varios medios: por ejemplo, rociándolo con agua, moliéndolo más finamente, adicionándole substancias que no tengan tendencia a la expansión, tales como las escorias de altos hornos, las puzolanas, los materiales silíceos, etc., así como también mediante la agregación de substancias químicas. Existen sin embargo muy escasos datos numéricos publicados acerca de la medida en que el yeso influye en la estabilidad de volumen del clinker.

Erdmenger² probó, hace ya algunos decenios, que los cementos con elevada dosis de arcilla (es decir, los cementos bajos en cal) que tenían tendencia a la expansión, se remediaban mediante el yeso; no ocurre en cambio lo mismo con los cementos normales (altos en cal). El tema fué discutido también después por Tippmann³ y por Kühl⁴, en sus colaboraciones al problema del endurecimiento del cemento Portland, si bien ambos lo hicieron brevemente. Es notable que hasta el presente no se haya llevado a cabo ninguna investigación sistemática completa sobre el particular; claro está que limitando las normas

¹ Comunicación a la 12ª Asamblea técnica de la Asociación de Fabricantes Alemanes de Cemento Ferro-Portland, de Düsseldorf, en 17 de abril de 1931.

² Wecke, "Manual de la literatura del cemento," pág. 380.

³ "Zement," 1930, pág. 1234.

⁴ "Zement," 1931, pág. 239.

como lo hacen la adición de yeso al 3 por ciento tampoco puede decirse que se sienta desde el punto de vista práctico la necesidad de que se lleve a cabo una investigación de esta índole. Los notables modos de conducirse de algunos clinkers industriales y experimentales nos indujo a investigar, entre otros puntos, el efecto, de un modo más detallado, del yeso sobre la estabilidad de volumen del clinker de cemento Portland.

Guttman y Gille⁵ dan la fórmula siguiente para el cálculo del máximo contenido de cal en el clinker:

$$1,07 \text{ CaO} - \frac{0,64 (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mn}_2\text{O}_3) \text{ por ciento.}}{0,38 (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mn}_2\text{O}_3) + 1,76\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,75\text{SO}_3} < 3$$

A este cociente le denominan "módulo cálcico." Según Kühl⁶ la máxima dosis de cal admisible en el clinker es la que da la fórmula siguiente, que denomina "factor de saturación en cal":

$$\frac{\text{CaO}}{2,8\text{SiO}_2 + 1,65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,70 \text{ Fe}_2\text{O}_3 (+ 0,71\text{Mn}_2\text{O}_3)} = 1$$

La fórmula de Kühl ha sido ampliada por medio de la adición de la expresión contenida entre paréntesis para abarcar también los clinkers que contienen manganeso, porque este elemento no se halla en el cemento Portland a modo de cuerpo extraño, como antiguamente se había supuesto. El manganeso equivale por lo menos al hierro en su afinidad por la cal, según hemos podido comprobar en nuestra experiencia práctica con crudos que contienen manganeso, y asimismo por experimentos efectuados en gran escala en el horno rotatorio con dosis de manganeso hasta el 8%. Esto ha sido además confirmado por Guttman y Gille⁷ en el artículo "El manganeso en el clinker de cemento." En la industria del cemento de altos hornos, como la escoria de altos hornos contiene casi siempre sulfuros y estos van a parar entonces al crudo, la fórmula de Guttman y Gille resulta mejor para los cálculos precisos, puesto que tiene en cuenta el contenido de SO_3 , y éste en ciertas circunstancias puede llegar a ser de un 1,5% del clinker.

En nuestro laboratorio de la fábrica tuvimos ocasión hace ya mucho tiempo de establecer que varios clinkers que contenían manganeso podían alcanzar o incluso exceder la dosis límite de la cal fijada por el módulo 3, bien el límite de saturación en cal fijado por la unidad, sin dar origen a expansión tal como la presentan las probetas, que de ordinario adolecen de inestabilidad de volumen. Este hecho resultaba tanto más notable cuanto que los valores de Guttman y Gille y de Kühl representan límites ideales que no pueden ser alcanzados en la práctica sin riesgo de expansión.

Demuestra la experiencia que los crudos abundantes en componentes fusibles (que como es natural comprenden también los que son altos en manganeso) se cuecen mejor y más fácilmente que las mezclas crudas bajas en ingredientes fusibles, o que aquellas que contienen toda su cal en forma de carbonato, como suele ocurrir con los materiales naturales. En el primer caso, por consiguiente, la dosis de cal puede aproximarse más sin peligro al límite de expansión teórico que los crudos bajos en componentes fusibles y altos en carbonato. Sin embargo, esto no explica suficientemente el hecho de que en determinados clinkers de laboratorio e industriales el límite práctico de la expansión pueda caer por encima del límite teórico sin que ni en la prueba en el horno ni en la prueba a la ebullición

⁵ "Zement," 1929, n. 16-18.

⁶ "Tonindustrie Zeitung," 1930, pág. 389.

⁷ "Zement," 1929, n. 16-18.

se observe señal alguna de expansión. Hemos intentado encontrar una explicación para el notable fenómeno de que el clinker que contiene manganeso pueda exceder ligeramente del valor máximo establecido por Guttman y Gille.

Los experimentos emprendidos para poner en claro esta cuestión demostraron que los resultados del ensayo de estabilidad de volumen dependen de la cantidad de yeso molido con el clinker. Con objeto de obtener datos más precisos acerca de este efecto, se molieron diversos clinkers industriales y experimentales, con diferentes dosis de cal y diversas adiciones de yeso, pero en idénticas condiciones y en un mismo molino de laboratorio. En estos experimentos se vió que todos los clinkers que tienen un módulo cálcico superior a 3, y un factor de saturación en cal de 1 o mayor que 1, presentan mucha expansión cuando son molidos sin yeso, o con poco yeso (en general, hasta un 2%). Sin embargo, si tales clinkers se muelen con un 3 o más de yeso, los habituales ensayos de estabilidad de volumen (pruebas a la ebullición y al horno) no daban indicación alguna de expansión. De acuerdo con esto sometimos estos clinkers altos en cal a otros ensayos de estabilidad de volumen, que se emplean en Alemania, para averiguar si en efecto del yeso se ponía también de manifiesto con tales ensayos.

Las pruebas de estabilidad de volumen sobre los diversos clinkers fueron realizadas de la manera siguiente. Para los ensayos con la esfera caliente de Heintzel y el ensayo en el horno con galleta comprimida de Prüssing, las probetas de ensayo fueron preparadas de la manera corriente y ensayadas en seguida sobre una plancha caliente de hierro a 300 ó a 160° C. En el ensayo del horno con placa de yeso, denominado también ensayo acelerado de horno, la pasta de cemento se colocó sobre una superficie absorbente (una placa de yeso cubierta con papel secante) y después se pasó al cabo de media hora a una plancha caliente de hierro a 100/120° C. El ensayo al horno, usando galletas preparadas sobre una placa de vidrio y el ensayo normal a la ebullición fueron llevados a cabo una vez transcurridas las primeras 24 horas, según la regla usual. El ensayo de Le Chatelier no fué aplicado, por no haber sido introducido en Alemania y por dar resultados que se aproximan a los del ensayo a la ebullición.

Los resultados de los diversos ensayos de la estabilidad de volumen pueden ser resumidos como sigue; los ensayos de Heintzel y Prüssing son apropiados, para el caso de clinkers muy altos en cal, de alta dosis de yeso, para indicar una ligera tendencia a la expansión por la cal, inofensiva en la práctica, pero interesante desde el punto de vista de la investigación científica.

La gran sensibilidad de estos dos ensayos muy probablemente es debida al hecho de que el cemento se ensaya antes de su fraguado, es decir, en condiciones enteramente anormales por lo que a la estabilidad de volumen se refiere, mientras que en los ensayos a la ebullición y al horno sólo se efectúa la prueba cuando el fraguado se halla ya terminado, y desde luego nunca antes de las 24 horas, pasadas las cuales la probeta ha alcanzado ya una resistencia bien definida. Esto ha sido ya indicado por Kühl¹. Por esta razón, tanto la prueba de Prüssing como el ensayo de Heintzel han sido considerados como demasiado severos, según ha sido declarado con frecuencia².

De los numerosos experimentos llevados a cabo para poner en claro el efecto del yeso sobre la estabilidad de volumen del clinker alto en cal, y en el cual la acción del yeso puede siempre ser observada, los resultados hallados en el caso de dos clinkers típicos, debidamente escogidos, han sido resumidos en las tablas 1 y 2.

¹ "Zement," 1931, pág. 239.

² Kühl, "Estudios técnicos de cementos y morteros," pág. 75; Schoch, "Materiales aglomerantes," 4ª edición, pág. 730; "Tonindustrie Zeitung," 1925, págs. 939, 1066, 1067.

Los clinkers tenían los siguientes módulos :

					Clinker 1.	Clinker 2.
Módulo de silicatos	..	..	..	..	1,68	1,73
Módulo Fe + Mn	..	..	..	..	1,83	1,69
Módulo hidráulico	..	..	..	..	2,22	2,37
Módulo cálcico	..	..	..	..	2,96	3,19
Factor de saturación en cal	..	..	..	..	0,99	1,05

Los datos completos figuran en las dos tablas, que comprenden también los resultados de los ensayos de estabilidad de volumen, los residuos al tamiz, los tiempos de fraguado y las resistencias según las distintas adiciones de yeso. Además, para mayor claridad, en las figs. 1 y 2 (véase págs 1345, 1346) se han indicado los resultados de los diversos ensayos acelerados de la estabilidad de volumen para los dos clinkers. Además, la relación de dependencia entre las resistencias y la cantidad de yeso se ve gráficamente en la fig. 3 (véase pág 1348).

La fig. 1 representa los ensayos de estabilidad de volumen del clinker n° 1; el módulo cálcico era de 2,96; todas las probetas de ensayo presentaron estabilidad absoluta de volumen. Las correspondientes a la línea superior fueron sometidas a la prueba de Heintzel; las de la segunda línea a la prueba de Prüssing; las de la tercera al ensayo del horno con placa de yeso; la cuarta línea al ensayo del horno con placa de vidrio; y las de la línea inferior a la prueba a la ebullición.

La fig. 2 (véase pág 1346) representa los ensayos de estabilidad de volumen del clinker n° 2; su módulo cálcico era 3,19; los diferentes ensayos están indicados en el mismo orden que en la fig. 1. En ambas figuras las cifras que se encuentran a lo largo de la línea inferior indican los tantos por ciento de yeso.

Como resultado de la elevada dosis de cal, todas las pruebas aceleradas de estabilidad de volumen con dosis de 0 a 1% de yeso dieron considerable expansión. Con el 3 y el 4% de yeso, las probetas sometidas a la prueba a la ebullición se manifestaron ya estables de volumen, aun cuando no de un modo perfecto; los dos ensayos al horno, sin embargo, todavía indicaron ligera expansión, que no queda bien identificada en las fotografías. Se ve, por consiguiente, que al aumentar las dosis de yeso agregadas, la expansión resultante en los ensayos a la ebullición y al horno disminuye o desaparece completamente. Por el contrario, los ensayos de Prüssing y de Heintzel indican una expansión bien definida, aún con dosis más elevadas de yeso.

La tabla I señala el efecto de las varias adiciones de yeso sobre el clinker n° 1, cuyo módulo cálcico es 2,96. Es notable que el tiempo de fraguado se conserve casi constante a medida que la dosis de yeso va aumentando, y que la resistencia a la tracción en el caso de conservación en agua se mantenga elevada, en correspondencia con el alto grado de estabilidad de volumen.

La tabla 2 expresa el efecto de diversas adiciones de yeso al clinker n° 2, cuyo módulo cálcico es 3,19. También en el caso de dicho clinker el tiempo de fraguado se conserva casi inalterable, a pesar de las elevadas adiciones de yeso. En este caso los fenómenos de expansión en todas las probetas del ensayo de estabilidad de volumen quedan algo disminuidos a medida que va aumentando la dosis de yeso. Esto se nota más aún en los ensayos a la ebullición y al horno, y no tanto en las pruebas de Heintzel y Prüssing, según se puede observar en la fig. 2.

El conjunto de la serie de ensayos indica, por consiguiente, que es posible realizar una decidida mejora en la estabilidad de volumen del clinker aumentando la dosis de yeso adicionado. Sin embargo, como las normas limitan la cantidad de materias agregadas a un 3%, estos experimentos tienen un valor más teórico que práctico. Queda por averiguar mediante nuevas investigaciones si este

TAB

% de adición de yeso.	Residuos al tamiz de	Tiempo de fraguado.	Estabilidad de volumen							Resistencia a la tracción en kg/cm².				Resistencia a la compresión en kg/cm².																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
			Prueba de Hentzsl.	Prueba de Prussing.	Prueba del horno con placa de yeso.	Prueba del horno con vidrio.	Prueba a la tracción.	Prueba normal en agua.	Prueba al air.	Días.				Días.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
										1	3	7	conservación en agua.	28	conservación combinada.	1	3	7	conservación en agua.	28	conservación combinada.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
0	900 m.	1,0	0 4	2 20	5 0	4 30	4 40	4 50	5 0	21	16	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	

% de agua para los ensayos del tiempo de fraguado, 25
Mortero de 1 cemento : 3 arena normal usado para los ensayos a la tracción y a la compresión, con una dosis de 8% de agua.

TABLA 11

% de adición de yeso.	Residuos al tamiz.		Tiempo de fraguado.		Estabilidad de volumen						Resistencia en kg/cm ² . Tracción.				Resistencia en kg/cm ² . Compresión.			
	900 m.	4900 m.	Prin- cipio	Fin.	Prueba del	Prueba de	Prueba del	Prueba del	Prueba a	Prueba	Prueba al	1	3	7	28	28	1	3
					Heintzel	Prussing	botno con placa de yeso.	horno con placa de vidrio	Prueba a la chullion.	Prueba normal en agua.	Prueba al aire							
					21	16	27	25	25	25	25							
0	0,1	1,8	H. min 0 15	H. min 2 20	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	22,0	26,2	25,4	25,7	45,5	183	268
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	24,4	26,7	26,8	28,6	40,6	276	372
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,5	28,6	25,7	28,9	44,3	244	346
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,8	26,7	27,5	28,3	40,6	317	397
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,4	28,3	26,6	29,2	40,3	333	447
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,4	30,8	30,6	31,3	51,2	292	476
					Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	O K	O K	O K	24,3	23,0	29,4	30,9	53,5	246	422
1	0,1	3,7	H. min 2 15	H. min 3 05	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	22,0	26,2	25,4	25,7	45,5	183	268
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	24,4	26,7	26,8	28,6	40,6	276	372
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,5	28,6	25,7	28,9	44,3	244	346
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,8	26,7	27,5	28,3	40,6	317	397
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,4	28,3	26,6	29,2	40,3	333	447
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,4	30,8	30,6	31,3	51,2	292	476
					Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	O K	O K	O K	24,3	23,0	29,4	30,9	53,5	246	422
2	0,1	1,9	H. min 2 05	H. min 3 0	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	22,0	26,2	25,4	25,7	45,5	183	268
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	24,4	26,7	26,8	28,6	40,6	276	372
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,5	28,6	25,7	28,9	44,3	244	346
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,8	26,7	27,5	28,3	40,6	317	397
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,4	28,3	26,6	29,2	40,3	333	447
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,4	30,8	30,6	31,3	51,2	292	476
					Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	O K	O K	O K	24,3	23,0	29,4	30,9	53,5	246	422
3	0,1	0,7	H. min 1 55	H. min 4 40	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	22,0	26,2	25,4	25,7	45,5	183	268
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	24,4	26,7	26,8	28,6	40,6	276	372
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,5	28,6	25,7	28,9	44,3	244	346
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,8	26,7	27,5	28,3	40,6	317	397
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,4	28,3	26,6	29,2	40,3	333	447
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,4	30,8	30,6	31,3	51,2	292	476
					Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	O K	O K	O K	24,3	23,0	29,4	30,9	53,5	246	422
4	0,1	0,6	H. min 2 10	H. min 4 30	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	22,0	26,2	25,4	25,7	45,5	183	268
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	24,4	26,7	26,8	28,6	40,6	276	372
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,5	28,6	25,7	28,9	44,3	244	346
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,8	26,7	27,5	28,3	40,6	317	397
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,4	28,3	26,6	29,2	40,3	333	447
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,4	30,8	30,6	31,3	51,2	292	476
					Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	O K	O K	O K	24,3	23,0	29,4	30,9	53,5	246	422
5	0,1	0,8	H. min 2 10	H. min 4 40	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	22,0	26,2	25,4	25,7	45,5	183	268
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	24,4	26,7	26,8	28,6	40,6	276	372
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,5	28,6	25,7	28,9	44,3	244	346
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,8	26,7	27,5	28,3	40,6	317	397
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,4	28,3	26,6	29,2	40,3	333	447
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,4	30,8	30,6	31,3	51,2	292	476
					Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	O K	O K	O K	24,3	23,0	29,4	30,9	53,5	246	422
6	0,1	0,6	H. min 2 20	H. min 5 10	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	22,0	26,2	25,4	25,7	45,5	183	268
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	24,4	26,7	26,8	28,6	40,6	276	372
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,5	28,6	25,7	28,9	44,3	244	346
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,8	26,7	27,5	28,3	40,6	317	397
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	33,4	28,3	26,6	29,2	40,3	333	447
					Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	27,4	30,8	30,6	31,3	51,2	292	476
					Expan- sivo	Expan- sivo	O K	O K	O K	O K	O K	24,3	23,0	29,4	30,9	53,5	246	422

% de agua para los ensayos del tiempo de fraguado 25.

Mortero de 1 cemento : 3 arena normal usado para los ensayos a la tracción y a la compresión, con una dosis de 8% de agua.

efecto del yeso se manifiesta de igual manera y con igual evidencia para clinkers de composición diferente, es decir, clinkers cuya dosis de Al_2O_3 sea anormalmente baja, y cuando varía el grado de molturación.

Hemos intentado comprobar si la sencilla dilución del clinker mediante un material inerte bastaría para mejorar su estabilidad de volumen. En un caso, el clinker fué diluido con un 6% de caliza molida a gran finura, y en otro con arena. No pudo apreciarse efecto alguno sensible en la estabilidad de volumen. Por el contrario, la anhidrita dió los mismo resultados que el yeso.

Resumen.

El ensayo de Heintzel con la esfera caliente, y el de Prüssing con su prueba al horno a base de galleta comprimida, son los más sensibles de todos los ensayos de estabilidad de volumen, cuando se trata de poner de manifiesto en clinker puro la expansión debida a la cal.

Cuando la tendencia a la expansión es ligera, puede ser eliminada a base de la cantidad de yeso que permiten agregar las normas; de manera que se puede obtener un cemento perfectamente inexpansivo.

Los valores límites de la dosis de cal dados por las fórmulas de Guttman y de Kühl (o sea respectivamente 3 y 1) no pueden ser rebasados sin peligro de expansión, aun cuando las condiciones de las primeras materias y de la fabricación sean las más favorables. Tales cifras deben, pues, ser aceptadas como verdaderos valores límites.

Modificación de las propiedades físicas del cemento producida por la carbonatación.*

por F. L. BRADY, M.Sc., A.I.C.
(de la Building Research Station).

FORMANDO parte del plan de investigaciones que acerca de las propiedades de los productos de hormigón se está llevando a cabo en la Building Research Station por la Cast Concrete Products Association de la Gran Bretaña, se está realizando un estudio del proceso de carbonatación atmosférica. Numerosos son los datos que se han ido publicando con relación a los efectos del proceso de la carbonatación atmosférica sobre las propiedades químicas del cemento; en cambio, se ha dedicado escasa atención a los cambios físicos que acompañan a tales procesos de carbonatación.

Podría pensarse, a primera vista, que la carbonatación debería producir tan sólo modificaciones insignificantes de las propiedades físicas del cemento, y que al parecer la transformación del hidróxido cálcico cristalino en carbonato cálcico se realiza con una variación de volumen muy ligera. El dato más fidedigno acerca de la densidad del hidróxido cálcico puro pulverizado es el debido a P. Joyce y P. Demont¹ (2,239 g. por cm^3), que coincide con el valor dado por Lamy², que es de 2,236 a 2,239 g. por cm^3 , y en cambio difiere marcadamente del mencionado por Filhol³, de 2,078 g. por cm^3 . Las observaciones de F. W. Ashton y R. Wilson⁴, proponiendo un valor próximo a 2,26 g. por cm^3 , son una nueva confirmación de los valores de Joyce y Demont.

* Queda reservado el derecho de reproducción.

¹ Joyce, P., y Demont, P. "El peso específico del hidróxido cálcico y el papel representado por dicha substancia en la contracción del cemento Portland." *Journ. Chim. Physique*, 1929, 26, 317.

² Lamy, A.—*Ann. Chim. Phys.*, 1878, 14, 145.

³ Filhol, E.—*Ann. Chim. Phys.*, 1845, 7, 271.

⁴ Ashton, F. W., y Wilson, R.—"La preparación y propiedades ópticas de los cristales del hidróxido cálcico." *Am. Journ. Science*, 1927, 13, 209.

J. W. Mellor ("Inorganic and Theoretical Chemistry") menciona numerosas determinaciones de la densidad de la calcita. Así tenemos:

						g. por cm ³
C. J. B. Karsten	..	..	..	..	..	2,6946
V. Goldschmidt	..	..	..	..	..	2,713-2,735
E. Madelung y R. Fuchs	..	..	..	..	..	2,7067-2,7121
J. Johnstone	..	..	..	..	..	2,71
L. Bourgeois (calcita artificial)	..	..	..	..	..	2,71

No nos hallaremos muy lejos de los valores verdaderos, aceptando 2,24 g. por cm³ para la densidad del hidróxido cálcico cristalino, y 2,71 g. por cm³ para la densidad de la calcita.

Ahora bien, por cada unidad de volumen de mortero de arena y cemento Portland dosificado a 1 : 3, y con una densidad de 2,2 g. por cm³ (para adoptar un valor medio) vendrá a haber un 11% en peso de agua, un 22% de cemento, y un 67% de arena. Suponiendo que el cemento contiene cuando se halla hidratado un 10% de CaO (como valor medio) correspondiente a un 13,2% de Ca(OH)₂, tendremos por 1 cm³ de mortero:

$$\frac{0,22 \cdot 13,2 \text{ g}}{100} \text{ Ca(OH)}_2 = 0,029 \text{ g. de Ca(OH)}_2.$$

Este peso de cal libre (si se halla en estado cristalino) tendrá un volumen de

$$\frac{0,029 \text{ g.}}{2,24} = 0,0129 \text{ cm}^3,$$

lo que, al efectuarse la carbonatación, quedará convertido en:

$$0,029 \cdot \frac{100}{74} \cdot \frac{1}{2,74} \text{ cm}^3 \text{ de calcita} = 0,0145 \text{ cm}^3 \text{ de calcita.}$$

Por lo tanto, habrá un aumento de volumen del orden de

$$0,0145 - 0,0129 \text{ cm}^3 = 0,0016 \text{ cm}^3, \text{ que corresponde a una expansión lineal de } \frac{0,0016}{3} \text{ cm}^3 = 0,00053 \text{ cm}^3 \text{ o bien } 0,053\%.$$

Así, en el proceso de carbonatación, y suponiendo, que consista en la conversión del hidróxido cálcico cristalino libre en calcita, puede preverse una dilatación lineal del orden de 0,05%. El efecto observado en realidad en los ensayos llevados a cabo en la Building Research Station, sin embargo, es más bien una contracción, de lo cual podemos por consiguiente deducir que la explicación dada del mecanismo del proceso de carbonatación, o no es acertada o es incompleta.

En primer lugar, resulta ya algo dudoso el que la cal libre del cemento Portland se encuentre en forma cristalina. (Las observaciones de F. F. Tippmann¹ sobre este punto no pueden ser consideradas como absolutamente concluyentes.) Si cierta proporción de cal libre se hallase presente en forma de gel, el razonamiento ya no sería aplicable al caso.

Tiene que tenerse en cuenta, además, otro importante efecto. Los análisis de muestras de hormigón sometidas a la acción de los agentes atmosféricos indican que la carbonatación de los cementos no se detiene una vez efectuada la transformación de la cal libre en carbonato cálcico; el gel de cemento se descompone también parcialmente. Resulta, por consiguiente, que durante la carbonatación se introduce en la masa del gel de cemento hidratado cierta proporción de carbonato cálcico. El examen microscópico indica que existe cierta cantidad de carbonato cálcico en forma de cristales de una longitud del orden

¹ Tippman, F. F.—"Algunas observaciones acerca del hidróxido cálcico y de sus funciones en el proceso de endurecimiento del cemento Portland." *Kolloid Zeitschrift*, 1931, 55, 85.

de 5 a 10 micras, es decir de un orden de magnitud que no va acompañado de las propiedades características de los coloides. Así, pues, la proporción total del volumen de una muestra de mortero o de hormigón que ocupa lo que podríamos denominar el gel de cemento, usando esta expresión para describir la totalidad* de la masa de fondo no estructurada, queda reducida por el proceso de la carbonatación. Sería lógico que como resultado de este cambio, las propiedades físicas del cemento (modificación de la longitud, debida a la variación de la dosis de humedad, de la permeabilidad, de la porosidad, de la resistencia y del módulo de elasticidad) cambiaran también.

Escasas son las observaciones que han sido publicadas acerca de los efectos físicos que acompañan a la carbonatación. H. Passow⁶ ensayó el efecto del dióxido de carbono sobre diversos morteros. Descubrió que el efecto del dióxido de carbono sobre el mortero de cemento se traducía en una elevación más o menos intensa de la temperatura, acompañada siempre por la separación de agua. En ensayos efectuados sobre el proceso de fraguado, observó que el dióxido de carbono producía un efecto máximo cuando las probetas ensayadas habían perdido una cierta proporción de agua, llegando a un determinado grado de sequedad. El efecto sobre el cemento fraguado depende de la edad de la muestra, y resulta más sensible cuanto mayor es la dosis de cal del cemento. Passow refiere también que los morteros porosos se reblandecen por la acción del dióxido de carbono, en tanto que los morteros compactos aumentan de resistencia. Manifiesta la opinión de que mientras dura la acción del dióxido de carbono se favorece el proceso de hidratación. Respecto a la influencia de la carbonatación sobre las resistencias, G. Natta y C. G. Fontana⁷ han expresado recientemente la misma opinión. J. Bied⁸ estudió el efecto de la carbonatación sobre la contracción de las galletas de cemento, aplicadas a planchas de zinc. Los cementos conservados en dióxido de carbono saturado de vapor de agua no presentaban contracción alguna, hasta tanto que no se les dejaba secar al aire. Se contraían cuando se los trasladaba al aire, aunque no en la misma medida que lo hace el mortero ordinario sin carbonatar. Dos muestras de cemento de fraguado rápido manifestaron contracción al ser conservadas en dióxido de carbono, pero se volvieron a dilatar al trasladarlas al aire. Bied indicó que este efecto de dilatación podía ser debido a la presencia de cal libre. Se dedujo la conclusión general de que la exposición a una atmósfera de ácido carbónico disminuye visiblemente la contracción. No se ha dado explicación alguna de este fenómeno. Durante los actuales trabajos, las observaciones efectuadas acerca de la influencia del dióxido de carbono sobre la contracción del cemento no han sido confirmadas.

H. W. Gonell⁹ ensayó el efecto de la conservación de galletas de volumen estable en una atmósfera de dióxido de carbono, y habiendo amasado el cemento con una solución de azúcar. Observó lo mismo que Passow que las galletas conservadas durante el endurecimiento en una atmósfera de dióxido de carbono "rezumaban" (o sea que expulsaban gotitas de agua por su superficie). Según decía, "esto resulta de la descomposición del gel formado al principio en la capa exterior bajo la acción del dióxido de carbono, que da lugar a la puesta en

* A juzgar por el examen microscópico.

⁶ Passow, H.—"La acción del dióxido de carbono sobre el mortero de cemento." *Protokoll*, 1896, 19, 128.

⁷ Natta, G., y Fontana, C. G.—"Pérdida de resistencia de los hormigones porosos." *Giorn. Chim. Ind. Appl.*, 1931, 13, 173.

⁸ Bied, J.—"Investigaciones industriales acerca de la cal, de los cementos y de los morteros," pag. 227, Pub. Dunois, Paris.

⁹ Gonell, H. W.—"Influencia del azúcar sobre el fraguado y endurecimiento del cemento Portland." *Zement*, 1929, 18, 372, 437, 472.

libertad del agua retenida por el gel." Goslich y Hart¹⁰ descubrieron en un ensayo a la compresión de una muestra de diez años de fecha, la existencia de una capa de 8 mm. de espesor, todo alrededor de la probeta. Se comprobó que esta capa estaba formada por el material que había sido afectado por el dióxido de carbono.

Las precedentes observaciones acerca de los efectos físicos de la carbonatación son, por consiguiente, incompletas y poco concluyentes, aunque de vez en cuando se han publicado informaciones en las que hay datos valiosos acerca de la naturaleza de aquellas influencias físicas: desgraciadamente, no se han seguido con la perseverancia necesaria. No es posible prever con algún éxito los resultados probables de la carbonatación a base de argumentos teóricos, puesto que es carece de muchos de los datos en que habría que basar tales previsiones. Solo queda el recurso de ensayar los efectos por la experimentación.

Los efectos de la carbonatación deben ser atribuidos a un cambio en la estructura del gel de cemento. Por lo tanto, podrá llegarse a un conocimiento más sólido acerca de la amplitud y naturaleza de las modificaciones producidas si se recurre a un examen de los efectos de la carbonatación sobre aquella propiedad que en los cementos es la prueba más clara del carácter coloidal del material, esto es, sobre el movimiento de la humedad, es decir, el cambio de longitud producido por las variaciones de humedad. De acuerdo con esto, se han hecho ensayos acerca de la contracción de prismas de mortero de cemento conservados al aire exento de dióxido de carbono, así como en atmósferas de dióxido de carbono. Para esta clase de ensayos es conveniente desecar en parte el mortero, como lo hizo Passow (lugar mencionado), con el fin de obtener una reacción más rápida del dióxido de carbono. Las condiciones más convenientes para esta reacción han sido averiguadas en el curso de algunas otras investigaciones efectuadas en la Building Research Station.

Las piezas de ensayo examinadas fueron prismas de 14 cm. x 32 cm. x 6 mm., de morteros de cemento y arena 1:3 amasados a consistencia plástica. Los ensayos fueron hechos cuando las muestras o probetas tenían 10 días. Los resultados de los ensayos son los que figuran en la tabla 1.

Tabla 1.—Dilatación y contracción de morteros de cemento conservados al aire y en dióxido de carbono.

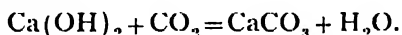
Plazo.	Variación de longitud %					
	Cemento Portland.		Cemento Portland de endurecimiento rápido.		Cemento aluminoso.	
	En aire.	En CO ₂ .	En aire.	En CO ₂	En aire	En CO ₂ .
1 hora	—	+ 0,010	—	+ 0,005	—	+ 0,003
1 día	- 0,0022	- 0,037	- 0,0015	- 0,041	- 0,0007	- 0,011
2 días	- 0,0040	- 0,051	- 0,0023	- 0,064	- 0,0011	- 0,019
4 días	- 0,0050	- 0,060	- 0,0037	- 0,075	0,0018	- 0,025
8 días	- 0,0064	- 0,065	- 0,0050	- 0,081	- 0,0022	- 0,034
16 días	- 0,0076	- 0,071	- 0,0070	- 1,086	—	—
32 días	—	—	—	—	—	—

Tomando en consideración los valores indicados para plazos de un día y superiores, se advierte que en cada uno de los cementos se realiza una marcada contracción mediante la conservación en dióxido de carbono. La conservación

¹⁰ Goslich y Hart.—"Efecto del dióxido de carbono sobre el endurecimiento del cemento Portland."—*Cement*, 1923, 12, 262-4.

al aire produce una ligera contracción, debida a la ulterior desecación de las muestras parcialmente desecadas. Como todas las muestras fueron conservadas en una atmósfera de igual grado de humedad, la diferencia no puede ser atribuída a la influencia de variaciones en el grado de humedad exterior, y la diferencia entre la contracción que se realiza en atmósfera de dióxido de carbono y la contracción al aire indica los efectos del dióxido de carbono. Al mismo tiempo que la medida de los cambios de longitud se llevó a cabo una serie de mediciones de los cambios de peso de las muestras, demostrándose la existencia de una ligera pérdida de peso con la conservación al aire (debida a la desecación), y un marcado aumento de peso en las muestras conservadas en dióxido de carbono.

Los dos cementos Portland presentaron una ligera expansión cuando fueron expuestos por primera vez a la acción del dióxido de carbono. Se produjo al mismo tiempo una sensible elevación de temperatura; sin embargo, la dilatación no fué debida solamente a esta causa. Las mediciones de la variación de temperatura de una de las muestras indicaron que la dilatación térmica producida por la elevación de temperatura venía a ser únicamente del orden de 1/40 de la variación de longitud observada. La verdadera causa residía probablemente en la acción química del dióxido de carbono sobre la cal libre de las muestras, según la ecuación siguiente:



Por cada molécula de dióxido de carbono absorbida se produce una molécula de agua. El agua en cuestión pasará a formar parte del gel residual, o bien se evaporará parcial o totalmente, según sea: (a) la rapidez con que se absorbe el dióxido de carbono; (b) la densidad de la muestra; y (c) el estado de desecación externa. Hasta tanto que el agua mencionada no haya sido expulsada y la muestra no haya adquirido un estado de equilibrio con relación a la presión del vapor de agua exterior, el efecto de la carbonatación no se pondrá de manifiesto. En realidad, cuando las muestras de mortero de cemento se someten a la acción del dióxido de carbono, puede darse el caso de que se observen contracción, expansión o invariabilidad en la longitud. Sólo a base de un riguroso control de la humedad puede ponerse de manifiesto el efecto real atribuible a la carbonatación; en todos los casos examinados hasta el presente, se observa entonces una marcada contracción.

Los actuales trabajos se encuentran todavía en un estado preliminar; sin embargo, se considera que se ha adelantado ya lo suficiente para poder afirmar que a causa de la carbonatación atmosférica, se originan marcados fenómenos físicos, siendo uno de ellos una sensible contracción. No hace falta encarecer la importancia que esto tiene con relación a determinadas deficiencias, tales como el agrietamiento de la superficie del hormigón expuesto a la acción atmosférica. Se considera que es necesario todavía demostrar la necesidad de tener en cuenta la composición de la atmósfera empleada en la conservación de muestras de cemento destinadas a las observaciones de contracción por desecación, especialmente si las muestras son de pequeño tamaño y las observaciones se efectúan a grandes intervalos.

Anteriormente, al principio del artículo se dijo que la carbonatación da por resultado una reducción del volumen total, que en la muestra de cemento ocupa el gel del cemento hidratado. De los ensayos realizados con cemento de alúmina resulta evidente que dicho cemento contiene tan sólo indicios de cal libre, y a base de otros datos no reproducidos aquí, se observa que no sólo queda carbonatada la cal libre, sino que se produce incluso cierta descomposición de los hidratos del cemento. Por consiguiente, no solo varía el volumen de gel, sino también la composición química del resto. El resto de gel que subsiste una vez

terminada la carbonatación se halla más cargado de sílice y alúmina y más bajo en cal. Puede incluso estar formado en parte de gel de alúmina y de sílice. Este gel indudablemente es diferente en composición química del gel ordinario de cemento, por lo cual puede presentar un movimiento distinto de su humedad. Es un punto este que conviene examinar. Es evidente que en la superficie del hormigón expuesta a la acción de la atmósfera encontraremos un material esencialmente distinto del que hay debajo, en el seno de la masa del hormigón. Propiedades del material carbonatado aún no han sido determinadas de una manera completa.

Se confía en poder publicar más tarde un informe más completo acerca de las investigaciones efectuadas sobre los efectos del dióxido de carbono en relación con las propiedades físicas del cemento.

Teoría de la formación del cemento.

por RUDOLF ZOLLINGER.

DEFINIMOS el cemento como un aglomerante hidráulico. La hidráulidad se debe a una dosis de cal libre. La cal libre se produce en el cemento por la disociación ocasionada por la adición de agua, de los silicatos y aluminatos sobresaturados en CaO. Así pues la disociación cálcica es tan sólo posible a condición de que existan compuestos sobresaturados en cal.

Consideremos en primer lugar los compuestos de la SiO_2 con la CaO. Clasificaremos entre los saturados en CaO, los compuestos $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$, $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$, $3\text{CaO}.2\text{SiO}_2$ y $4\text{CaO}.3\text{SiO}_2$. Estas cuatro combinaciones tienen la tendencia a desprender CaO para transformarse en la variedad estable $\text{CaO}.\text{SiO}_2$. Entre los compuestos de Al_2O_3 y CaO, deben ser mencionados, en concepto de sobresaturados en CaO, el $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$, el $2\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ y el $5\text{CaO}.3\text{Al}_2\text{O}_3$. Estas tres últimas combinaciones tienen tendencia a desprender CaO y transformarse en la variedad estable $\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$. Así pues hay que buscar los silicatos cálcicos del cemento en el intervalo $3\text{CaO}.\text{SiO}_2 - \text{CaO}.\text{SiO}_2$. Asimismo hay que buscar los aluminatos cálcicos del cemento en el intervalo $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$.

Sin embargo, en el cemento no se trata de silicatos puros como tampoco de aluminatos puros, salvo en el caso límite del cemento teórico de alúmina de pureza absoluta. En todos los casos suelen existir cristales de mezcla de silicatos y aluminatos. Cuando predominan los silicatos llamamos el cemento en cuestión cemento Portland. Cuando en cambio predominan los aluminatos acostumbramos a denominarlo cemento aluminoso. En todos los casos habrá que buscar los cementos, dentro del diagrama de 3 elementos, entre las líneas de equilibrio $3\text{CaO}.\text{SiO}_2 \longleftrightarrow 3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{CaO}.\text{SiO}_2 \longleftrightarrow \text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$. En la fig. 1 (véase pág 1424) se ha marcado de modo especial dicha zona para hacerla resaltar. La línea $3\text{CaO}.\text{SiO}_2 \longleftrightarrow 3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ representa el límite máximo de sobresaturación, es decir, la posición de los cementos hidráulicamente mejores; tendremos en cambio en la línea $\text{CaO}.\text{SiO}_2 \longleftrightarrow \text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ la posición de los cementos cuyas propiedades hidráulicas no pueden ser ya adecuadas porque se halla ya neutralizada toda la sobresaturación en cal y el sistema en equilibrio se encuentra ya en su forma más estable. Más allá de esta última línea la disociación de los compuestos de CaO se efectúa con suma dificultad, es decir, teniendo que vencer considerables resistencias. Los cementos utilizables en la práctica sólo se encuentran pues en las zonas correspondientes a las combinaciones sobresaturadas en CaO con gran exceso, según se volverá a indicar más adelante.

Como materias primeras para la fabricación del cemento se emplean en general calizas y arcillas o bien sustancias que, como ocurre por ejemplo con las margas, sean ya una mezcla natural de ambas materias. La preparación industrial de los cementos se basa en atacar los silicatos naturales por medio de la CaO . Para descomponer los silicatos en cuestión basta la débil acción de la cal, porque tales silicatos en las arcillas se encuentran sobresaturados en SiO_2 , por cuyo motivo resulta relativamente fácil y cómodo hacer que cedan su exceso de SiO_2 . Así es que la fabricación del cemento no sólo disocia las arcillas, o sean los compuestos sobresaturados en SiO_2 , por medio de la CaO , sino que da origen a un producto sobresaturado en CaO , esto es, un compuesto inestable, y saca partido de esta inestabilidad opuesta a la de las arcillas, aprovechando la energía de disociación de esos nuevos compuestos sobresaturados, en forma de hidraulicidad.

Hacen las veces de suministradores de cal, las más variadas clases de piedra de naturaleza sedimentaria. Es común a todas ellas el mineral calcita, o para emplear el formulismo químico $\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$. De éste se expulsa por medio de la cocción el anhídrido carbónico CO_2 (calcinación), con objeto de dejar en libertad la CaO necesaria para el proceso de disociación antedicho.

Si la piedra que contiene la calcita se encuentra en forma porosa se llama toba, duckstein o travertino. La variedad compacta se designa con el nombre de piedra caliza, en tanto que la variedad terrosa se denomina greda (o creta). Merece ser citada todavía la cal de los prados y los corales, así como el mármol, que apenas son nunca usados para la fabricación de los cementos por causa de su dureza, que ocasionaría un gasto demasiado elevado para su molturación.

Las calizas son de estructura relativamente sencilla, como vemos; en cambio, las arcillas son mucho más complicadas en su composición. Suelen ser silicatos de alúmina + CaO o silicatos alcalinos, es decir, cristales de mezcla, de forma tal que la SiO_2 siempre está, por lo menos, combinada con dos bases. Si queremos expresar la arcilla en el diagrama de tres sustancias necesitamos referir los silicatos alcalinos o de magnesia eventualmente existentes a su equivalencia en silicatos cálcicos, y el Fe_2O_3 , o los otros óxidos metálicos que asimismo puedan existir, a los silicatos de alúmina. Podemos teóricamente justificar este modo de proceder, porque los efectos de los álcalis y de la magnesia son idénticos a los de la cal, y los de los óxidos metálicos a los de la alúmina, desde el punto de vista de la descomposición del cemento. Dibujando ahora, como se ha hecho en la fig. 2 (véase pág 1424), los silicatos posibles de CaO sobre la línea de ordenadas SiO_2 - CaO , y del mismo modo, los silicatos de alúmina sobre la línea SiO_2 - Al_2O_3 ; las líneas que enlazan los tipos de igual naturaleza nos darán los equilibrios en los cristales de mezcla, que como se ha dicho existen en las arcillas. Si cortamos estas líneas de equilibrio por la línea de equilibrio $\text{SiO}_2 \longleftrightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, que es la que forma la base de esas combinaciones, en los puntos de intersección tendremos consiguientemente los cristales de mezcla molecular que se encuentran en los minerales naturales y de que se componen las arcillas de naturaleza compleja, además de existir también no sólo los cuatro tipos puestos de manifiesto en la fig. 2, sino también mezclas de los mismos que, sin embargo, en nada hacen variar el diagrama. Debemos, por lo tanto, distinguir y tener en cuenta los cuatro siguientes tipos de minerales:

(1) $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, es decir, el exasilicato. En la arcilla se le encuentra en la serie de los feldespatos.

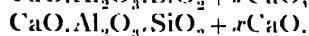
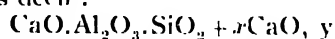
(2) $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$, es decir, el tetrasilicato. Está representado en la arcilla por el caolín.

(3) $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, es decir, el bisilicato. En las arcillas figura en forma de anortita y feldespato cálcico.

(4) $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, o sea el monosilicato. En la naturaleza se conocen los minerales de esta clase con los nombres de augitas y hornblendas.

Observaremos que los minerales sobresaturados en SiO_2 tienen tendencia a disociarse para irse convirtiendo en el término final de la serie R_2 y SiO_2 , de lo cual podemos deducir ya desde ahora que los leldespatos son los que reaccionarán con mayor facilidad, y que las augitas no lo harán en modo alguno. Por encima del exasilicato no existe ningún otro mineral que nos interese. Las arcillas que presentan una dosis de SiO_2 más elevada deben ser consideradas, por lo tanto, como mezclas con SiO_2 libre, o sea con arena o cuarzo. Sabemos que las arcillas de esta naturaleza con SiO_2 libre no son preferidas, y prácticamente se separan al desleirlas de la SiO_2 libre que contienen. Deduzcamos ahora de todo lo expuesto las consecuencias aplicables a la fabricación del cemento:

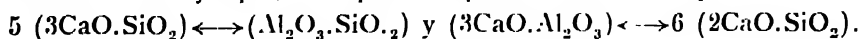
En la fig. 3 (véase pág 1424) los elementos finales de la serie de los silicatos fueron unidos en el diagrama con el punto de la CaO . Estas nuevas líneas de combinaciones representan el equilibrio de la combinación posible en el cemento; es decir:



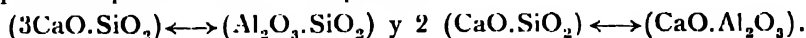
Esas líneas de equilibrio cortan a las líneas de equilibrio correspondientes al cemento del sistema silicatos CaO : aluminatos CaO , y limitan el campo de los cementos posibles en forma que podemos decir que los cementos sólo tienen la posibilidad de formarse en el área A B C D, por lo que corresponde a los cementos Portland, en tanto que el área B C $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ eventualmente hasta $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ viene a corresponder a la zona de los cementos aluminosos.

En la fig. 4 (véase pág 1424) observamos que nuestra zona A B C D queda cortada por otros tres sistemas. Cuando los puntos caen sobre la línea $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \longleftrightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ya no pueden considerarse como cementos, porque en los puntos de esta línea los componentes son ya estables y no puede confiarse por lo tanto en la existencia de hidraulicidad, por lo cual el primer cemento verdadero cae en el punto I. El punto I representa el equilibrio $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \longleftrightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Además, puede existir también en él el equilibrio $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \longleftrightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. En otros términos: un cemento de esta composición puede hallarse sobresaturado tanto en silicato CaO como en aluminato CaO . Resulta de estas dos posibilidades que nos hallamos ante un caso límite. Este cemento lo mismo puede ser representante del grupo de los cementos Portland como del grupo de los cementos aluminosos, por lo que en el punto en cuestión se encuentra el paso de un sistema a otro.

En los puntos M y N correspondientes a cementos, junto con los silicato cálcico: aluminato cálcico en equilibrio puede existir como componente silicato de aluminio. Por ejemplo, en el punto N pueden existir en equilibrio:

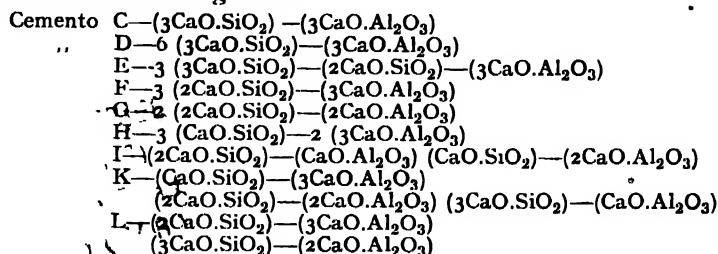


En el punto M pueden existir en equilibrio:



En estas posibilidades debemos ver la transición hacia las masas vítreas o las escorias. Como campo seguro del silicato de CaO , y del aluminato de CaO en equilibrio, nos queda, por consiguiente, una zona delimitada por los puntos C D E I, y eventualmente por los C D N M I. Sólo en esta zona tenemos la seguridad de encontrar lo que designamos con el nombre de cemento Portland. Ahora bien, si marcamos los puntos de intersección de las líneas de equilibrio del sistema silicatos de CaO aluminatos de CaO con las líneas del contorno de la zona C D E I, podremos fijar como característicos los cementos C D E F G H I K y L. Debemos citar todavía que los cementos C L K e I

carecen en absoluto de importancia práctica. Hemos visto que la línea de equilibrio $\text{CaO} \longleftrightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, sobre la que se encuentran estos cementos, mineralógicamente conduce a la serie augita hornblenda. Sabemos que los minerales de esta serie han logrado ya su fase estable, no cediendo por consiguiente SiO_2 más que de manera forzada. Esto significaría prácticamente que la preparación de minerales de este tipo exigiría un gran trabajo de disociación, y por consiguiente, tal operación tendría que ser costosa. Por esto, en la práctica no se trabaja con arcillas de esta composición. Desde el punto de vista teórico, sin embargo, puede resultar interesante estudiar el problema. Mineralógicamente los cementos correspondientes tendrían que expresarse de la manera siguiente:



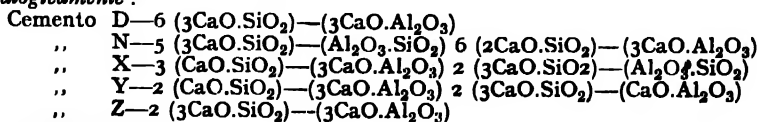
La composición química que se obtendría sería:

	Módulo hidráulico.	CaO.	Al ₂ O ₃ .	SiO ₂ .
C ..	2,06	67,43	20,48	12,09
D ..	2,53	71,72	6,24	22,04
E ..	2,17	68,50	6,94	24,56
F ..	1,80	64,10	12,96	22,94
G ..	1,51	60,16	18,27	21,57
H ..	1,34	56,75	22,99	20,16
I ..	1,00	50,88	30,90	18,22
K ..	1,38	57,99	26,42	15,59
L ..	1,72	63,31	23,07	13,62

Deben considerarse como teóricamente posibles todos los cementos que se encuentran en el pentágono C D N M I. La dificultad de disociación de los minerales de la serie augita-hornblenda, que no guarda relación con el valor de los cementos que resultarían, prohíbe el empleo de arcillas con una proporción predominante de tales minerales. Las primeras materias que la naturaleza pone a nuestra disposición, aparte de éstas, son principalmente las arcillas que continen caolín y las que contienen además del caolín feldespatos.

Si en el pentágono teóricamente obtenido en el diagrama de las tres sustancias marcamos las dosis media y máxima que la práctica indica existen en nuestros cementos, obtendremos otro pentágono más pequeño, cuyos vértices son aproximadamente los puntos D N X Y Z. Los cementos que corresponden a dichos vértices podrían ser expresados en la siguiente forma:

Mineralógicamente:



Químicamente.

	Módulo hidráulico.	CaO.	Al ₂ O ₃ .	SiO ₂ .
D ..	2,53	71,72	6,24	22,04
N ..	1,80	64,45	7,85	27,70
X ..	0,98	54,30	16,50	29,20
Y ..	1,77	63,79	16,61	19,60
Z ..	2,26	69,43	14,03	16,54

Estimación de la cal libre en el cemento.

por G. A. ASHKENASI.

(JEFE QUÍMICO DE LA THE PORTLAND CEMENT CO., NESHER LTD., PALESTINA).

LA estimación de la cal " libre " ha constituido siempre un importante problema en la investigación del cemento. El químico analista, mediante el señalamiento o determinación de la cal libre o combinada, trata de investigar la constitución del cemento Portland, y el químico de fábrica procura eliminar la cal libre para vigilar el proceso de la cocción. Desde Sainte Claire Deville¹, que trató de averiguar la cal libre por medio de una solución de nitrato amónico en alcohol absoluto, hasta nuestros días, se han publicado numerosas memorias acerca de métodos para resolver este problema. En 1909 el profesor Alfredo D. White² encontró una solución para el señalamiento cualitativo de la cal libre, basado en la formación de fenolato cálcico cristalino, que puede ser fácilmente reconocido bajo la luz polarizada del microscopio. D. C. McFarland y H. F. Hadley³ recomendaron el uso de p. cresol en lugar de fenol, siendo su método más preciso y mejor definido.

El principal inconveniente para la estimación cuantitativa era el de que cuando el cemento se mezcla con reactivos que contienen agua se hidroliza; usando otros reactivos parte de la cal combinada es también atacada. La idea de Maynard⁴, para extraer el óxido cálcico del cemento por medio del glicerol, fué llevada a cabo y perfeccionada por W. E. Emley⁵, que halló un método para averiguar la cantidad de cal libre del cemento. El método de Emley, que es el que actualmente se emplea en la práctica de los cementos, se basa en la extracción del óxido cálcico no combinado por medio de una solución alcohólica de glicerol, y valorando luego el glicerato cálcico así obtenido con una solución alcohólica de acetato amónico. Este método es, sin embargo, algo complicado. Exige mucho tiempo y mucho cuidado en la preparación de los reactivos, que tienen que ser absolutamente exentos de agua. Constituyen nuevas fuentes de error las condiciones especiales en que se efectúa la valoración, la separación del amoniaco por el calor en combinación con un condensador de retorno de líquido y el calentamiento continuado durante largo tiempo, que ocasiona un precipitado de glicerato cálcico cristalino que hace la valoración menos precisa. El autor ha estudiado durante varios meses este método en el laboratorio de su fábrica, y ha obtenido siempre resultados diferentes.

Otros investigadores han obtenido también resultados inseguros y poco merecedores de confianza. Lerch y Bogue⁶ enviaron para su examen ocho cementos diferentes a 17 laboratorios y los resultados obtenidos variaron en un 25% aproximadamente. La muestra N₁, por ejemplo, indicaba como máxima una proporción de 8,5%; como mínima la de 6,3%; la muestra N₈ indicaba una dosis máxima del 7,8% y una dosis mínima del 5,7%. Si se analiza cemento comercial, que suele estar hidrolizado parcialmente, los resultados obtenidos por el método de Emley son completamente inadmisibles. Se han hecho, por consiguiente, ensayos con objeto de substituir el acetato amónico por otro reactivo.

¹ Saint Claire Deville, " Journ. für prakt. Chemie," pp. 62, 81

² A. White, " Ind. and Eng. Chem.," No. 1, 1909, p. 5.

³ McFarland y H. F. Hadley, " Chem. Zeit.," No. 122, 1912.

⁴ W. E. Emley, " Trans. of Am. Cer. Soc.," No. 17, 1915.

⁵ Maynard, " Ton. Ind. Zeit.," No. 27, 1903, p. 1253.

⁶ Lerch y Bogue, " Zement," 1931, p. 653.

El Ing. Dr. H. Rathke⁷ encontró que era más adecuado el empleo del ácido tartárico, y G. E. Bessey⁸ usó el ácido benzoico con éxito. La valoración por medio de estos reactivos es más sencilla y los resultados obtenidos más concordantes. Con objeto de obtener la solución N/10 del ácido tartárico, el Dr. Rathke indica el empleo de óxido cálcico puro, calentándolo con glicerol anhidro durante 24 horas, a una temperatura de 60/70° C., y agitando la mezcla de vez en cuando. El CaO queda completamente disuelto después de este plazo. Esta solución se comprueba con solución alcohólica de ácido tartárico, empleando la fenoltaleína como indicador.

El autor ha simplificado este método suprimiendo la operación de calentar durante 24 horas y agitar, operando en la siguiente forma:

Solución patrón N/10 de ácido tartárico.—Disuélvanse 7,5 g de ácido tartárico en 1000 cm³ de metanol absoluto. Muélanse 50 mgr. de CaO purísimo con 2 cm³ de glicerol de 1,24 a 1,26 de peso específico en un mortero de ágata.

Enjuáguese el contenido del mortero, para pasarlo a un frasco de Erlenmeyer con 8 cm³ de glicerol (cuatro veces, 2 cm³ cada vez), y luego con 10 cm³ de metanol. Agréguese después otros 30 cm³ de metanol, cúbrase el frasco con un vidrio de reloj y hágase hervir. El líquido fangoso se vuelve claro una vez que ha hervido de tres a cuatro minutos. Debe evitarse que hierva durante más tiempo, para impedir la precipitación del glicerato cálcico cristalino. La solución hirviendo se ensaya con la solución preparada de ácido tartárico N/10, usando como indicador una solución de fenoltaleína en alcohol metílico. La valoración se efectúa rápidamente, y el cambio de color del indicador desde el rojo o rosado hasta volverse incoloro es muy marcado; la diferencia que se observa entre los resultados obtenidos no oscila en más de 0,1 cm³. No debe perderse de vista que la cantidad de CaO obtenido es siempre algo mayor que la real. En lugar del valor teórico de 0,0028 g. de CaO, como correspondiente a 1 cm³ de ácido tartárico N/10, se obtiene un promedio de 0,0036 g. El mismo valor se obtiene usando hidróxido cálcico en lugar de óxido cálcico. Para la neutralización de 66 mg. de Ca(OH)₂ se requieren 13,7 cm³ de ácido tartárico N/10 como promedio, equivalentes a 0,00361 g. de CaO por cada cm³ de ácido tartárico N/10.

G. E. Bessey⁹, por medio de la valoración con ácido benzoico ha obtenido resultados más elevados, que en sus ensayos fluctúan entre 0,0030 y 0,0037 g. de CaO para 1 cm³ de C₆H₅CO₂H-N/10. Bessey explicó esta divergencia atribuyéndola a la hidrólisis de los compuestos del glicerato cálcico, o a la formación de pequeñas cantidades de compuestos estables con los restos de los ácidos que se producen al calentar el glicerol. No puede darse explicación sencilla ninguna aquí de esta diferencia entre los valores teóricos y los empíricos, pero como esta diferencia, observada en numerosos ensayos resultaba ser siempre la misma, el valor empíricamente hallado ha sido adoptado, y todos los ensayos se han basado en la equivalencia resultante: 0,0036 g. de CaO corresponden a 1 cm³ de la solución de C₆H₅O₆ del autor. Para los ensayos el autor usó cemento producido en la fábrica de Haifa por vía seca y en hornos verticales de parrilla rotatoria. Fueron estudiadas gran número de muestras diferentes; bastará sin embargo describir aquí tres casos típicos.

El cemento A, preparado con clinker bien cocido y completamente vitrificado, molido sin yeso en un molino de laboratorio hasta una finura que no daba residuo alguno sobre el tamiz de 4900 mallas p.cm².

⁷ H. Rathke, "Ton. Ind. Zeit.," 1928, p. 1318; "Zement," 1931, No. 28.

⁸ G. E. Bessey, "Journ. of Soc. of Chem. Ind.," 1930, p. 360.

⁹ G. E. Bessey, "Zement," 1931, p. 654.

El cemento B, hecho con clinker defectuosamente cocido, molido de la misma manera sin yeso y a la misma finura.

El cemento C, muestra promedia de cementos molidos industrialmente en molinos combinados. El clinker estaba molido con un 2,5 por ciento de yeso a una finura de 3,4 de residuo sobre el tamiz de 4900 mallas. Este cemento ensayado para comprobar su estabilidad de volumen por el método de Le Chatelier manifestó una expansión de 1 mm. después de 24 horas al aire; ensayado para determinar la resistencia a la tracción de acuerdo con las normas inglesas, dió a los tres días, 34 kgs. p. cm²; a los siete días, 93 kgs. por cm²; y a los 28 días, 42,5 kgs. p. cm².

Antes de ser valorado el cemento era desecado a 120° C., o calentado hasta llegar a constancia de peso en un horno eléctrico de mufla a 1.050° C. Del cemento así preparado se molió 1 g. junto con 2 cm³ de glicerol en un mortero de ágata, se enjuagaba con glicerol (cuatro veces con 2 cm³ cada vez) y luego con diez cm³ de metanol, recogiénolo todo en un frasco de Erlenmeyer, donde se le agregaban por último 30 cm³ más de metanol. El frasco se cubría con un vidrio de reloj y la mezcla se hacía hervir durante tres o cuatro minutos e inmediatamente se valoraba, empleando para ello una solución de fenolftaleína en metanol al 0,5 por ciento como indicador. Se prolongaba la valoración hasta tanto que el color encarnado al principio y rosado después que tenía el líquido desaparecía por completo. Este cambio es muy visible y manifiesto. En las muestras desecadas solamente a 120° C. el color rosado reaparecía al cabo de varios minutos y volvía a desaparecer agregando una gota de ácido tartárico, reapareciendo otra vez al cabo de un minuto más. En las muestras que habían sido calcinadas el cambio de color del indicador se mantenía durante varias horas, aun cuando el frasco se tapara con un vidrio de reloj.

Si se continúa la valoración con muestras que hayan únicamente sido desecadas con objeto de evitar el retorno del color rosado, se llega a un punto en que el líquido se mantiene incoloro durante varias horas. Así, por ejemplo, al valorar el cemento C se necesitaron 3 cm³ de C₆H₆O₆ N/10 para conseguir el primer cambio. Fué necesario agregar otros 3,8 cm³ de ácido para obtener un cambio permanente o durable. Este fenómeno puede tener una explicación en la presencia de compuestos básicos de calcio que reaccionan muy lentamente. En el caso del cemento calcinado el cambio dura varias horas, y aun, si el frasco se halla bien tapado, puede durar varios días. En este caso el cambio que devuelve al líquido la coloración rosada se debe a la presencia de indicios o restos de agua que son del todo inevitables y que incluso son indispensables para que pueda actuar el indicador.

En la tabla I se exponen los resultados típicos de la estimación del CaO en el cemento desecado y en el calcinado. Estos ensayos fueron llevados a cabo por el Dr. N. Ben-Jacob, ayudante del autor.

TABLA I.

(Tanto por ciento de CaO indicado por el método de ensayo de cementos mediante el ácido tartárico-glicerol.)

	Muestras desecadas a 120° C.		Muestras calcinadas a 1050° C.	
	Nº de cm ³ de ácido tartárico N/10.	% de CaO	Nº de cm ³ de ácido tartárico N/10.	% de CaO
Cemento A	2,3 ; 2,25 ; 2,35	0,83	2,4 ; 2,35 ; 2,4	0,85
Cemento B	26,3 ; 26,2 ; 26,35	8,43	29,9 ; 29,8 ; 29,8	10,53
Cemento C	3,0 ; 2,9 ; 3,05	1,27	35,7 ; 35,8 ; 35,65	12,93

Los resultados obtenidos indican que la proporción de CaO señalada en el clinker bien cocido es la misma, sea el que fuere el tratamiento a que se someta antes del análisis. En el cemento poco cocido la proporción de CaO crece cuando el cemento ha sido calcinado. El aumento se eleva en el caso del cemento B al 2,10% y es ocasionado por la presencia del carbonato cálcico. (Este no queda apreciado si se usa este método en cementos que solamente hayan sufrido desecación.) Cuando se procede a la calcinación, el CaCO_3 forma CaO y aumenta la dosis de cal libre.

El cemento C, que contiene yeso, da resultados muy diferentes. La proporción de CaO, que en las muestras desecadas es del 1,27%, aumenta en las calcinadas hasta el 12,93%. La materia volátil desprendida por la calcinación fué analizada; se componía de 1,47% de dióxido de carbono y de un 2,34% de vapor de agua. No se encontró anhídrido sulfúrico ni dióxido de azufre. La cantidad de dióxido de carbono desprendido justifica un aumento del 1,89% en el óxido cálcico, pero los resultados obtenidos indicaban un aumento del 11,66%. Para estudiar mejor este fenómeno, se calcinaron muestras del cemento C, durante tres, cuatro, veinticuatro y treinta horas. Después de unas dos horas de calcinación se llegó a la constancia de peso. Los resultados de la valoración del cemento después de los diferentes períodos de calcinación a 1050° son los que figuran en la tabla II.

TABLA II.

	Nº de cm^3 de $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$	% medio de CaO
Cemento calentado a 1050° C. durante 3 horas	36,35 ; 36,45	13,18
" " " " 6 " "	38,80 ; 38,70	13,97
" " " " 24 " "	39,10 ; 39,0	14,06
" " " " 30 " "	39,05 ; 38,90	14,03

Se observó un pequeño aumento, que alcanzaba el máximo cuando las muestras habían sido tratadas durante seis horas. Para examinar la influencia de la dosis de yeso agregada se agregaron al cemento C, que ya contenía un 2,5% de yeso, otro 1, 2, 3, y 4% de yeso di-hidratado finamente molido. Algunas de dichas muestras fueron desecadas a 120° C. y algunas de éstas calentadas después a 1050° C. durante diferentes períodos. Las muestras fueron luego valoradas, con los resultados siguientes (Tabla III) :

TABLA III.

(% de CaO estimado en el cemento C).

Yeso agregado	Muestras desecadas a 120° C.	Muestras calentadas a 1050° C. durante.			
		3 horas	4 horas	8 horas	24 horas
1%	1,08 ; 1,03	13,53 ; 13,88	—	—	13,80 ; 13,95
2%	0,98 ; 0,09	13,82 ; 13,88	—	—	18,61 ; 18,67
3%	1,13 ; 1,07	14,32 ; 14,11	16,21 ; 16,30	19,01 ; 18,86	19,06 ; 18,83
4%	1,02 ; 1,09	—	—	—	18,90 ; 19,97

Los resultados indican que la cantidad estimada de CaO en el cemento desecado es independiente del aumento en la dosis de yeso. En las muestras calcinadas, cuando la proporción de yeso es superior al 3,5%, la cantidad

estimada de CaO crece al crecer la dosis de yeso y al aumentar la duración de la calcinación; sin embargo, después de una calcinación de seis a ocho horas, y a base de una adición de un 2% de yeso, este aumento alcanza un máximo. Este aumento no puede ser ocasionado por la descomposición del yeso, porque el cemento con yeso calcinado a 1050°C . no desprende ácido sulfúrico; en segundo término las cantidades de CaO halladas eran mucho más elevadas que la cantidad de CaO existente en el yeso empleado.

Hay que admitir que se desprende óxido cálcico del cemento, cuando se calienta cemento que contiene yeso. Esta puesta en libertad de la cal es limitada; la cantidad de cal libre es la misma cuando el cemento contiene 4,5%, 5,5% o 6,5% de yeso. Desde este punto de vista, este fenómeno es semejante a la acción del yeso como retardador del tiempo de fraguado. La hipótesis más probable es la de que el yeso, cuando se calienta en presencia del cemento, descompone los compuestos cálcicos combinados con poca energía y produce cal libre. Se ha emprendido nueva investigación sobre este tema.

Mineralogía del cemento.

por A. C. DAVIS.

(DIRECTOR GERENTE DE FÁBRICAS DE LA ASSOCIATED PORTLAND CEMENT MANUFACTURERS. LTD.)

POR los precedentes artículos ya se habrá visto que los elementos que componen el cemento Portland ordinario pueden ser rápidamente puestos de manifiesto por los métodos usuales del análisis químico; tales investigaciones demuestran que los cementos buenos difieren poco en su constitución, aun cuando varíe el tanto por ciento de sus componentes, según las muestras de que se trate. Sin embargo, el análisis químico no permite al químico o al investigador determinar si la calidad del cemento es mejor o peor, desde el punto de vista de su empleo práctico. No sería difícil preparar un material que contuviera exactamente los componentes del cemento Portland ordinario, y que a pesar de ello no poseyera propiedades cementicias. La determinación del valor comercial del producto debe, por consiguiente, basarse en ensayos mecánicos y físicos, de los cuales trataremos más adelante.

La industria del cemento Portland no puede prescindir de un conocimiento y una práctica en materia química muy completos, tanto en la fabricación como en el ensayo y en las aplicaciones del cemento; este punto es esencial para las determinaciones de las variaciones o de la uniformidad de la mezcla de las primeras materias, del producto acabado y de las características de las primeras materias usadas en la fabricación, punto de suma importancia y que requiere especial estudio. Los productores de cemento Portland deben poseer extensos conocimientos de química; sin embargo, así como la Química hace ya mucho tiempo que se halla al servicio de la industria del cemento, la Mineralogía sólo hace poco tiempo que va interviniendo en su campo de acción, de manera que el químico especialista en cementos va evolucionando desde el análisis químico al mineralógico, en su empeño de comprender de modo más completo la esencia de la contestación a la pregunta tantas veces planteada: " ¿Qué es el cemento Portland? "

En el estudio del cemento Portland, la Mineralogía ha demostrado ser un valioso auxiliar, porque complementa los análisis técnico y químico, y ha permitido efectuar ya importantes aclaraciones. La posesión de un buen microscopio es un capítulo indispensable en el equipo de un laboratorio de ensayos

de cemento. Como se sabe, los componentes minerales de las rocas pueden ser identificados sometiéndolos en forma de preparaciones delgadas al microscopio, donde se examinan con el auxilio de la luz polarizada; estos métodos petrográficos han sido aplicados también a preparaciones de clinker de cemento Portland.

Los dos minerales predominantes, así reconocidos en el clinker de cemento, son los denominados alita y celita. También se encuentran otros componentes, que sin embargo parecen no ser esenciales, tales como el hierro, la magnesia y los álcalis.

Operando con silicatos perfectamente puros de cal y alúmina se ha logrado formar sintéticamente compuestos igualmente puros, integrados exclusivamente por alita y celita. La alita es una solución sólida de aluminato tricálcico y silicato tricálcico, en tanto que la celita es una solución sólida de silicato dicálcico y aluminato dicálcico. Cuando están fundidos, estos aluminatos y silicatos son solubles entre sí en todas proporciones; pero no sucede lo mismo en frío, ya que entonces la mezcla se disocia en alita y celita; cada una de ambas tiene las propiedades del cemento verdadero. Para que ambos componentes puedan existir, la composición del cemento en tantos por ciento tiene que estar comprendida entre los siguientes límites:

Sílice	18,5 a 23,2
Alúmina	6,1 a 11,9
Cal	63,1 a 68,1

Los cementos comerciales no llegan al límite máximo de cal, por ser imposible obtener industrialmente la elevada temperatura que requeriría su cocción. Sin embargo, tales mezclas pueden cocerse en el laboratorio. En la práctica, los cementos no llegan a fundirse, y el proceso de la fabricación se detiene un poco antes del punto de fusión. La formación de las soluciones sólidas "reblandeciendo" juntos los materiales a una temperatura inferior a su punto de fusión se atribuye a que el proceso de difusión de un sólido entre las moléculas del otro tiene lugar como en el caso de los metales. Cuanto más alta es la temperatura, más rápido es dicho proceso de difusión. El tiempo requerido, pues, depende de las superficies entre las cuales tiene lugar, y de la finura de molienda de los materiales, por consiguiente; ya que cuanto más fino es el molido tanto más rápidamente se realiza la difusión. El uso de una temperatura muy elevada para aquel reblandecimiento, seguida de un enfriamiento muy rápido del material cocido, debe evitarse, porque el aluminato cálcico es mucho más soluble en el silicato a elevadas temperaturas. Si el enfriamiento es demasiado rápido, se obtiene una solución sólida sobresaturada, de naturaleza inestable. El cambio o transformación en las variedades estables se verifica con un cambio de volumen que destruye la cohesión del clinker.

Otra opinión distinta de la anterior acerca de la tecnología de los cementos fué la que explicaron al autor los Sres. Day y Shepherd, del Laboratorio Geofísico del Instituto Carnegie, de Nueva York, quienes han demostrado que el silicato tricálcico no existe en la serie de dos componentes.

Parece evidente, después de los estudios mineralógicos realizados, que el cemento Portland en realidad no tiene una constitución fija, por no tratarse de un cuerpo homogéneo; tiene solamente el carácter de una mezcla mineralógica, formada por varios cuerpos, que son los componentes del cemento Portland o los minerales del cemento Portland. Este descubrimiento es importante y significativo, porque nos acerca considerablemente a una solución definitiva acerca de la constitución del cemento Portland.

Los peritos en cementos están de acuerdo en que no bajan de cinco los minerales que integran el cemento Portland; su estudio es complicado y dista mucho de

ser cómodo, porque en manera alguna se presentan con uniformidad en todas las marcas de cemento Portland, ni por las cantidades en que entran ni por la manera como se encuentran, faltando incluso de modo absoluto uno o más minerales en algunos de los casos. En opinión de algunos técnicos, todos los materiales del cemento Portland, a pesar de su diversidad, tienen idéntico origen, pues de lo contrario no serían lo que son. Pertenecen al género "cemento," obtenido por la cocción de cal y arcilla, eliminando todo su ácido carbónico. Los minerales del cemento Portland consisten visiblemente en cuatro productos cristalinos y uno amorfo; cada uno de ellos tiene su constitución propia, pero en realidad ninguno de los mismos se sabe todavía con seguridad qué composición tiene. Los minerales cristalinos del cemento Portland son los denominados alita, belita, celita, y felita. El mineral amorfo ha sido denominado residuo vítreo o magma.

El estudio de estos minerales se complica mucho por la circunstancia de que en el proceso de la cocción del carbonato de cal y de la arcilla, para la fabricación del cemento Portland, los minerales se funden juntos, y no es posible luego separarlos por ningún medio científico conocido. No es posible, por lo tanto, averiguar cómo se conducirían los minerales aislados si pudieran en realidad aislarse.

El mineral alita resulta poseer cualidades de endurecimiento de gran energía; tal propiedad es debida al hecho de que, añadiendo agua, se disuelve rápidamente la alita, se hace muy gelatinosa en su superficie y se endurece o fragua.

Se ha observado que los productos de la descomposición por el agua son, en esencia, de dos clases: uno es una masa al parecer amorfa, que va volviéndose parcialmente cristalina al cabo de cierto tiempo; el otro es una substancia cristalina, que rellena todos los huecos del cemento. Esta última substancia es hidrato de cal. La masa amorfa puede estar formada por silicato de cal hidratado, con mezcla probablemente de óxido de aluminio también hidratado.

La capacidad de fraguado del cemento Portland se supone que se debe a la capacidad adhesiva de la masa amorfa cuando se entumece por la acción del agua; sin embargo, la masa resultante se endurece principalmente por la cristalización gradual del hidrato de cal en su seno.

Suponiendo que la alita sea un cuerpo en que la alúmina y la sílice puedan reemplazarse mutuamente, hipótesis todavía no confirmada, el efecto de la alita tiene que variar según el tanto por ciento de alúmina o sílice que contenga. Esta diferencia en la composición de la alita explica probablemente las variaciones que en el tiempo del fraguado y en las resistencias a la tracción y a la compresión presenta el cemento Portland. Los tantos por ciento de alúmina y sílice que producen la alita más eficaz, y aseguran la máxima calidad al cemento Portland no han sido todavía determinados, sin embargo.

La disolución de la alita tiene lugar, en primer término, solamente en la superficie, de manera que la masa interior de la alita suele quedar sin disolver. Esto es probablemente la causa de que el cemento Portland fraguado, vuelto a moler, pueda ser nuevamente usado como cemento; cuando dicho material se amasa de nuevo con agua posee, evidentes propiedades hidráulicas y adquiere cierto endurecimiento. El grado en que esto ocurre depende, evidentemente, en cierta medida, de la finura a que se molió el cemento primitivo, y es tanto más marcado cuanto menos finos fueron los cementos usados.

La alita es un cuerpo alto en cal, de la cual contiene frecuentemente hasta un 71%. Cuanta más cal hay en la mezcla cruda mayor, por lo tanto, es la probabilidad de que el producto acabado contenga elevadas cantidades de alita. Al mismo tiempo esta adición de cal puede dar lugar a exceso de ella, y originar el peligro de la cal libre, destruyendo entonces la constancia de volumen, y

haciéndole perder al producto su buena calidad. En general, y de acuerdo con los conocimientos actuales, puede decirse que la calidad de la alita y la evitación de la cal libre pueden depender de la temperatura a que sean cocidos los materiales crudos, y esto a su vez tiene que depender de la composición de dichos materiales crudos y del proceso de fabricación adoptado. Cuando, por ejemplo, los materiales crudos se cuecen a una temperatura muy alta, el clinker puede disgregarse y quedar convertido en polvo al enfriarse. Este polvo, mezclado con agua, fragua muy lentamente y da resistencias muy bajas a la tracción. Aun cuando un cemento desintegrado de esta manera suele contener mucha belita, se ha comprobado, por otra parte, que muchas muestras de cemento examinadas contenían casi exclusivamente felita. Esta observación no puede atribuirse a ninguna confusión entre los dos materiales, porque al microscopio la diferencia entre la belita y la felita es tan grande que difícilmente puede concebirse una equivocación en este sentido. Probablemente, el cemento desintegrado en el primer caso no ha sido cocido a temperatura tan elevada como el producto de la desintegración en el segundo, habiéndose deducido, en consecuencia, que una temperatura muy elevada da lugar a la presencia de felita en el producto, y una temperatura más baja puede producir belita.

Puede mencionarse una interesante opinión relativa a la mineralogía del cemento y a lo referente a la desintegración del clinker de cemento cuando se cuece a temperaturas muy elevadas. Cuando el clinker se cuece a una temperatura más alta que lo necesario para su cristalización, contiene una gran proporción del mineral denominado residuo vítreo. Un clinker de tal naturaleza, cuando se le deja enfriar gradualmente, empieza a formar cristales, perdiendo así algo de su carácter vítreo. Este proceso hace que la masa se desintegre. Sin embargo, si un clinker de esta clase se enfría bruscamente en agua, sucede que el residuo vítreo del cemento Portland transforma rápidamente su estado plástico en otro duro y rígido, y la cristalización se imposibilita. El clinker entonces no sólo conserva de modo permanente su forma, sino que además conserva las elevadas cualidades hidráulicas del residuo vítreo que constituye uno de los minerales del cemento Portland, y éste no pierde su hidraulicidad.

Mediante un microscopio potente, se ve con claridad que la felita es un mineral que posee un doble plano de fractura bien definido sencillamente estriado por franjas paralelas, en tanto que la alita es incolora, granulada o en forma de copos y con dobles planos de fractura débilmente definidos.

El último de dichos minerales, es decir, el magma vítreo del cemento Portland, parece que ocupa una posición secundaria en la mineralogía del cemento, aun cuando los peritos no se hallan de acuerdo acerca de este punto. Según experiencias efectuadas se ha comprobado que el residuo vítreo puede en determinadas circunstancias desempeñar un papel tan importante como la alita, habiéndose sostenido que en ciertas condiciones llega a poseer la misma energía de endurecimiento. El magma vítreo de cemento Portland, examinado al microscopio, se presenta bajo la forma de una masa vítrea incolora, si bien en casos aislados puede ser ligeramente amarillo. Cuando se muele finamente, se amasa con agua y se comprime, se disuelve con extraordinaria lentitud a las temperaturas ordinarias. Si se emplea agua caliente se disuelve ya algo más deprisa, haciéndolo con extraordinaria rapidez en una solución alcalina.

Han sido empleados los rayos X en investigaciones muy recientes relativas a los compuestos que pueden formar parte del clinker de cemento Portland, y con el auxilio de tales investigaciones se ha estudiado la constitución del clinker de cemento y la identificación de los compuestos que existen en los productos comerciales. De esta manera los investigadores han demostrado que existe el silicato tricálcico, y que en determinadas condiciones de cocción de una mezcla

de cal y sílice debidamente dosificada puede formarse. Se ha comprobado también que la cal no entra en solución sólida con el silicato dicálcico en cantidades apreciables, pero que en cambio, las mezclas dosificadas de manera que correspondan a compuestos comprendidos entre dos moléculas de cal + una molécula de sílice, y tres moléculas de cal + una molécula de sílice, calentadas adecuadamente, contienen en equilibrio una mezcla de silicato tricálcico y de un silicato dicálcico alfa o beta.

El estudio roentgenográfico de la composición 8 moléculas de cal + 1 molécula de alúmina + 2 moléculas de sílice ha permitido comprobar que no existe ningún compuesto de tal fórmula en el sistema cal-alúmina-sílice, ni en el cemento Portland. Por el contrario, una mezcla de tal dosificación, calentada debidamente, produce silicato tricálcico, silicato dicálcico beta, y aluminato tricálcico, y si el equilibrio no es completo, una pequeña proporción de cal. Además, un análisis especial del sistema silicato tricálcico, silicato dicálcico y aluminato tricálcico ha demostrado que no se produce ninguna solución sólida en cantidad apreciable entre el aluminato y ninguno de dichos silicatos. Las mezclas en equilibrio contienen únicamente los tres componentes.

Por el método de los rayos X no se encontró cal libre en los clinkers de cementos comerciales. Estudiando la identificación de la cal se vió que podía ser comprobada la existencia hasta de un 2,5% de cal, por lo cual puede afirmarse que en los clinkers comerciales no suele haber cal libre en proporciones que excedan del 2,5%.

Las cantidades mínimas de los compuestos que integran el cemento y que pueden ser puestas de manifiesto en los clinkers de laboratorio por medio del método roentgenográfico son las siguientes:

	Per Cent.
Silicato tricálcico	8
Silicato dicálcico beta	15
Aluminato tricálcico	6
Alúmino-ferrito-tetracálcico	15
Magnesia	2,5
Cal	2,5

Se sometieron al análisis roentgenográfico diferentes clinkers de cemento que representaban numerosos tipos de primeras materias y de procesos de fabricación, identificándose en todos ellos el silicato tricálcico y el silicato dicálcico beta, de manera incuestionable, como los elementos integrantes más abundantes. El aluminato tricálcico, el alúmino-ferrito-tetracálcico y la magnesia fueron identificados separadamente o juntos en la mayor parte de los clinkers, pero en muchos de ellos no pudieron ser observados los diagramas característicos de uno o dos de estos compuestos. Los resultados obtenidos en esta investigación por medio de los rayos X están de acuerdo con los obtenidos por los métodos químico y microscópico, sirviendo cada uno de ellos para confirmar y apoyar los resultados de los demás. Los resultados de conjunto puede afirmarse que definen la mayor parte de los elementos que constituyen el cemento Portland. De ello se desprende que:

1. Los elementos componentes más abundantes son el silicato tricálcico y el silicato dicálcico beta.
2. Además, normalmente existen aluminato tricálcico, alúmino-ferrito tetracálcico y magnesia; y
3. La cal libre no suele hallarse presente en cantidades superiores a 2,5%.

Nuevo método de cocción por vía húmeda.

por E. SCHIRM.

En la industria del cemento, según se sabe, es frecuente preparar las primeras materias por vía húmeda, por una parte porque se obtiene así un producto más uniforme y por consiguiente de más alto valor, y por otra porque, siendo frecuente el que las primeras materias lleguen muy cargadas de humedad, el empleo de la vía seca en tal caso exigiría en tales circunstancias una desecación previa de aquellas primeras materias, y esta operación haría ilusoria la economía de combustible. La pasta en la actualidad se cuece todavía las más de las veces en hornos rotatorios sencillos, si bien se tienen en esta forma elevadas temperaturas de los gases de escape, que originan considerables pérdidas de calor. La temperatura de los gases de escape oscila entre 400° y 500°. De todos modos, en algunos puntos han encontrado aceptación ya dos métodos industriales, por los que se logra una temperatura más baja en los gases de escape, descendiendo sin dificultad hasta unos 350°. Uno de ellos es el que emplea guirnalda de cadenas en el interior del extremo de alimentación del horno, y el otro es el método de alimentación por medio de surtidores de pasta. En este último, el material se introduce en el horno rotatorio en forma de lluvia o pulverización. Más adelante daremos sobre este método y sobre otros varios noticia de ensayos recientes.

La introducción de cadenas en la parte superior del horno rotatorio tiene por objeto aumentar la superficie disponible para el intercambio de calor entre los gases y el material, sin verse obligado a dar mayor longitud al horno. Las cadenas se suspenden, sea por ambos extremos, dejándolas colgar en forma de guirnalda, sea por un extremo y distribuidas por todo el perímetro del horno rotatorio. En cualquier posición del horno rotatorio las cadenas suspendidas ocupan en este último caso toda la sección transversal del mismo, y por su extremo inferior se sumergen en la pasta. Cuando al proseguir el horno su rotación vuelven a salir de la pasta, quedan completamente recubiertas de ella. Las cadenas remueven de este modo la pasta de la parte superior del horno, elevándola a la zona alta de su sección transversal, desde donde, parte chorreando, y parte en forma de gotas, vuelve a caer, poniéndose en contacto con la totalidad de los eslabones de las cadenas. Este contacto de los eslabones de las cadenas con la pasta tiene un doble objeto: presentar a los gases una gran superficie de contacto, y proteger las cadenas contra la acción de los gases calientes, evitando que se quemen. Esta segunda finalidad sólo puede efectuarla, naturalmente, el rociado con la pasta, cuando esta pasta es todavía suficientemente fluida durante todo el período en que debe mantener su contacto con las cadenas. En caso contrario, dichas cadenas se quemarían. De ello se sigue, además, que las cadenas sólo son adecuadas para efectuar una previa desecación de la pasta, ya que la desecación definitiva, hasta formar grumos o fragmentos, requiere el empleo de la parte lisa del horno. De todos modos, con las cadenas se puede lograr buen resultado en la parte superior del horno rotatorio, según se comprueba en la nueva fábrica que el grupo Wicking ha montado en Neuwied a/Rhein. Allí se trabaja en dicha forma, lográndose todavía rendimientos muy elevados en cada uno de los hornos. No es de temer que el material se adhiera a los eslabones de las cadenas, ni que se incruste a ellas, porque la pasta se halla todavía en un estado de suficiente fluidez cuando se pone en contacto con las cadenas. Pero aun en el caso en que la pasta hubiese ya perdido parte de su contenido de agua y hubiese adquirido mayor

consistencia, tendría también escasa tendencia a adherirse, ya que cada uno de los eslabones de cadena se encuentra en constante movimiento respecto de sus inmediatos, con lo cual la pasta que pudiera adherirse a ellos es desprendida de manera continua.

El método de los pulverizadores de pasta ha sido empleado principalmente en Inglaterra. En este caso se parte del principio de que es necesario presentar a los gases del horno una gran superficie de contacto, si se quiere que su calor sea cedido completamente al material. Con objeto de eliminar toda posibilidad de adherencia del material sobre las estructuras interiores del horno, se prescinde totalmente de dichas estructuras internas y se pulveriza la pasta, haciéndola pasar a presión por boquillas o surtidores que la descargan en un horno liso interiormente. Entonces el material se presenta ante los gases en forma de fina lluvia. Este método es una modificación o refundición de un antiguo método de Kuhl, en el que también se pulveriza la pasta a su entrada en el horno. Para trabajar en esta forma es preciso lograr que la pasta llegue ya seca a ponerse en contacto con el revestimiento del horno. El contacto de los gases con el material en el caso de hallarse éste pulverizado finamente es ideal, a causa de la gran subdivisión del mismo. En la práctica se observa, sin embargo, que tampoco en este caso puede ser lograda una desecación perfecta del material en suspensión. Si el material se halla ya casi seco cuando todavía está en suspensión en el aire, es arrastrado por los gases hacia el extremo de alimentación del horno. Ciertamente, una parte del polvo es captada por las gotas húmedas recientes, pero la cantidad de polvo es tan grande, que son aún considerables las masas que del mismo llegan a la chimenea. En la práctica se necesita, por consiguiente, también en este caso que el polvo en suspensión sufra sólo una desecación previa. La presión en las boquillas o surtidores debe, por consiguiente, ser reducida, con objeto de que las gotas de material medianamente desecado se precipiten pronto sobre el revestimiento del horno. En esta forma se hace posible mantener la producción de polvo dentro de límites tolerables; sin embargo, la temperatura de los gases de escape alcanza, gracias a esta forma de operar y para una pasta con la dosis normal de humedad del 40%, unos 350°.

Otra de las dificultades consiste en el peligro de que se obstruyan las estrechas boquillas pulverizadoras. Debe procurarse que sean fácilmente recambiables. Esta aptitud para su recambio es, además, indispensable, porque las boquillas tarde o temprano acaban por quedar obturadas por la pasta. Es asimismo necesario un control o vigilancia permanente y muy atento del dispositivo de alimentación del horno. Como suele suceder que la boquilla, o bien un cierto número de éstas, cuando se emplean varias, pueden obturarse, se da el caso de que a veces los gases calientes del horno se pongan en contacto con dichas boquillas obstruidas, quemándolas y estropeándolas. En las nuevas instalaciones esto se impide disponiendo las boquillas aparte de la corriente de gases, alojadas en una cámara especial. Es indispensable que el chorro de las boquillas se prolongue algo más cuando se usa dicha disposición, pero para ello basta aumentar ligeramente la presión de la pasta que llega a la boquilla. Sin embargo, con esto no se remedia el principal inconveniente, que estriba en la producción de polvo o en la escasa utilización del calor de los gases de escape, respectivamente.

Con objeto de poder ejercer un control más decisivo y eficaz sobre el proceso de desecación en la zona en que el material está en suspensión, se han llevado a cabo importantes ensayos, en sentido de separar del horno propiamente dicho la sección de desecación previa y hacerla marchar independientemente; también se ha ensayado la solución de instalar esta zona del horno en una cuba o pozo

especial, situado a continuación del horno. La fig. 1 (véase pág 1356) pone de manifiesto un ejemplo de esta construcción, escogido entre otros muchos análogos. La cuba o cámara vertical tiene forma de chimenea, y la pasta es introducida en ella por numerosas aberturas practicadas en una tubería. La pasta cae verticalmente en forma de lluvia y recorre la cuba de arriba abajo en dirección contraria a los gases de escape del horno. En este caso no puede tener lugar fácilmente la obturación de las boquillas de pasta, por lo cual puede trabajarse con una presión muy moderada en ellas. Las aberturas de las boquillas son en consecuencia algo mayores. La pasta desecada se acumula en el fondo de la cuba vertical y por medio de un tornillo transportador o de una noria es conducida a una tolva de alimentación o a un segundo tornillo transportador que la introduce en el horno. Podría disponerse el fondo de la cuba vertical en forma inclinada, para utilizarlo directamente como tolva de alimentación; sin embargo, la pasta aglomerada puede adherirse a sus paredes. Va formando entonces una costra parecida a la del engrudo, que va aumentando progresivamente de espesor y acaba por obstruir el paso de los gases y obturar toda la instalación. La pasta no puede desecarse de manera completa en el pozo vertical, porque la altura que para éste resultaría sería prohibitiva. Aparte de esta circunstancia, se tendría también el inconveniente de que una desecación más apurada daría lugar a una extraordinaria producción de polvo. Es necesario, por consiguiente, limitar el grado de desecación previa de la pasta en la cuba vertical, correspondiendo a dicho grado el resultado que se obtenga con el procedimiento desde el punto de vista termotécnico. Queda algún inconveniente todavía. La pasta moderadamente desecada puede adherirse a las paredes de la caja. Para desprenderla de ella por medio de dispositivos rascadores puede tropezarse con inconvenientes, a causa de la longitud demasiado grande de la cuba, que hará dicha operación excesivamente pesada. Con el método de pulverizadores de pasta, tales adherencias o incrustaciones son menos de temer. Como el horno rotatorio se halla en movimiento continuo, la pasta que cae sobre las paredes, antes de adherirse a ellas, vuelve a caer de nuevo en su mayor parte, desprendiéndose del punto donde había caído. Este proceso puede favorecerse todavía instalando unas cuantas cadenas o contrapesos oscilantes en la zona en que haya peligro de incrustaciones.

Se ha proyectado, además, emplear junto con la pulverización de la pasta guirnalda de cadenas. En tal caso, la disposición resultante es la que se representa en la fig. 2 (véase pág 1357). Las cadenas se suspenden sólo de un extremo, lastrándose el extremo opuesto por medio de un peso. Poseen una longitud adecuada para que lleguen casi a la superficie interior. Esto significa, por una parte, la necesidad de instalar doble cantidad de cadenas para obtener igual superficie de intercambio de calor, porque la mitad de las cadenas descansa constantemente sobre el fondo, y por consiguiente es poco lo que ofrece de contacto a los gases, mientras que en el caso de cadenas suspendidas por sus dos extremos, siempre es corto el trozo que de ellas descansa sobre la parte baja del horno rotatorio. Tal circunstancia debe ser considerada, desde luego, como una desventaja. En cambio, el sistema tiene la ventaja de que las cadenas no perturban mutuamente su posición, y cuelgan siempre completamente verticales.

La boquilla, que como siempre se halla situada en el tabique que cierra la cabeza del horno por su parte superior, se dispone con algo de oblicuidad. Asimismo, la pasta no se inyecta en forma de fina lluvia, como en el método de pulverización antes mencionado, sino en forma de chorro fino, pero compacto. Como las cadenas se hallan dispuestas en serie, unas detrás de otras, este

chorro tropieza con ellas sucesivamente, en puntos siempre diferentes de las cortinas longitudinales de cadenas. De esta manera la pasta queda distribuida en forma aproximadamente uniforme sobre todas las cadenas. El resultado de este procedimiento viene a ser aproximadamente el mismo que el que se obtiene con los hornos ordinarios equipados con cadenas y con una alimentación sencilla de pasta, ya que la distribución uniforme de dicha pasta sobre las cadenas se logra también por medio de la rotación del horno.

Gracias a una serie de elementos aglomeradores de la pasta, ésta se calienta por la acción de los gases de la combustión, pasando a través de tabiques fijos. Así puede formarse una gran superficie para la transmisión de calor en pequeño espacio. En la cámara de humos del horno (véase fig. 3, pág 1358) hay uno, o mejor, varios tambores rotatorios que por su parte exterior son lamidos por los gases de la combustión, en tanto que por su interior circula la pasta. Mediante varios registros y conductos de humos convenientemente dispuestos, dichos tambores pueden recibir la acción más o menos directa, y en mayor o menor cantidad, de los gases de la combustión, así como se les puede también aislar, si así conviene totalmente de la corriente de aquellos gases. Disponiendo convenientemente unos pasos para los gases, puede hacerse que éstos circulen a lo largo de las paredes y de los tambores varias veces. El vaho de vapor de agua que se desprende de la pasta es separadamente conducido a la chimenea, y hasta llegar a ésta no se junta con los gases de la combustión, cuya temperatura reducirían. Esta es, desde luego la principal ventaja del calentamiento indirecto de la pasta. Los gases del humo sirven exclusivamente para la vaporización del agua; el vapor formado puede ser extraído en seguida sin que se recaliente, cosa que sería inevitable si la pasta y los gases de la combustión se hallasen en inmediato contacto.

El espesamiento de la pasta puede hacerse en grado bastante intenso cuando existe una superficie suficientemente grande de intercambio de calor, pues el desprendimiento de las eventuales adherencias de material acumulado, aunque tengan éstas mucho espesor, no ofrecerá en tal caso ninguna dificultad insuperable. De todos modos, no puede considerarse que los tambores rotatorios ofrezcan al intercambio de calor una superficie considerable. Desde el punto de vista de las adherencias, no es pues conveniente descender de un determinado diámetro para los tambores en cuestión. Por consiguiente, no es extraño que se hayan proyectado para sustituir a los tambores rotatorios unos serpentines, para hacer circular por ellos la pasta. La superficie de transmisión de calor en tal caso puede fácilmente alcanzar las dimensiones necesarias para el aprovechamiento de todo el calor de los gases de escape, pero los serpentines no permiten que la pasta sea muy espesa, pues de ser así se obstruirían.

En algunas otras instalaciones se monta detrás del horno rotatorio una caldera de vapor, aprovechando el vapor que en ellas se produce para desecar la pasta, en la forma indicada, por ejemplo, en la fig. 3 (véase pág 1358). Los gases de escape calientan únicamente la caldera de vapor, y de allí pasan directamente a la chimenea. El vapor sirve, en primer lugar, para la producción de energía en una máquina térmica, en la que, como es sabido, sólo puede utilizarse una pequeña parte de su contenido de calor. Pero antes de que el vapor pase al condensador, se le hace circular por una instalación desecadora formada por elementos de gran superficie de desecación, calentados por el vapor mencionado. En el caso que consideramos, el desecador propiamente dicho está formado por una serie de tambores giratorios verticales, por los que circula el vapor, en tanto que por su parte exterior están en contacto con la pasta. La pasta desecada se desprende mediante rascadores. Los tubos de vapor están

dispuestos de manera que parte del vapor pueda también ser enviado directamente al condensador; sin embargo, esto en general sólo será necesario para nivelar el consumo variable de vapor de la máquina térmica productora de la energía, ya que desde el punto de vista termo técnico, es conveniente que toda la cantidad de vapor producida pase por el secador.

El secador actúa también sobre el vapor en forma de condensador. En el caso más favorable, puede suceder que todo el vapor se transforme en agua ya en el interior del secador. En tal caso, se utilizaría para la desecación la totalidad del calor empleado para producir el vapor. Desde luego, sería necesario para esto que el material a desecar produjera un enfriamiento muy eficaz del vapor. Pero como el secador tiene la misión de vaporizar el agua contenida en la materia que se deseca, es preciso que dicha materia, en la mayor parte de su recorrido por el secador, conserve una temperatura de unos 100°. Así, pues, no será posible un enfriamiento eficaz del vapor en el secador, produciéndose en consecuencia con ello una importante pérdida de calor. Otro manantial de pérdidas reside en que todo generador de vapor, en general, sólo sirve para aprovechar el calor de los gases por encima de 250°, aún en el mejor de los casos. El calor residual se pierde sin aprovechamiento posible por la chimenea. Para formarse una idea del balance térmico de la instalación, es preciso pensar en que cuando el material se espesa mucho en el secador, la temperatura de los gases de escape del horno se aproxima mucho a la que tendrían trabajando por vía seca. La temperatura de los gases entonces resulta relativamente elevada a la entrada de la caldera de vapor.

En la disposición señalada en la fig. 5 (véase pág 1359) el vapor sirve también como medio de transmisión del calor, pero aquí el vapor sigue un proceso cíclico, y trabaja en circuito cerrado. La pasta entra primero en un calentador preliminar, donde adquiere una temperatura de unos 100°. A continuación dicha pasta es pulverizada bajo la acción de la presión en el interior de un tambor secador, por el cual se hace circular también a contracorriente vapor recalentado a unos 400° aproximadamente. El vapor absorbe el agua de la pasta, enriqueciéndose en agua y acercándose así a su grado de saturación. Con ello su temperatura desciende también hasta casi la de saturación correspondiente. La cantidad de vapor aumenta, en consecuencia, con la cantidad del extraído de la pasta. Una vez depurado el vapor del polvo que arrastra consigo, parte de él es conducido por una bomba a un recalentador interpuesto en el paso de los gases de escape del horno, desde donde es devuelto al tambor secador; el resto, que es la parte que corresponde al agua de la pasta, va a un pequeño recalentador especial, y de allí se envía a una máquina de vapor que trabaja con condensador.

Los gases de escape del horno circulan a través del pequeño recalentador correspondiente a la máquina de vapor, y de allí pasan al recalentador principal destinado al vapor de circulación, terminando su recorrido en el economizador o calentador previo de la pasta. De esta manera los gases de escape pueden ser enfriados cómodamente hasta unos 200°. Desde luego los gases de escape no se ponen en contacto en ningún momento con el material, sólo actúan exteriormente sobre los recalentadores y el calentador preliminar o economizador. No es de temer que se quemen los tubos de hierro de los recalentadores, porque se hallan eficazmente refrigerados por su interior, gracias al vapor que por ellos circula. No hay que decir que se consigue de este modo un considerable aprovechamiento del calor residual.

Desde el punto de vista teórico, la instalación trabaja también en una forma ideal. A pesar de ello, que yo sepa sólo se ha utilizado el sistema en Polonia

una sola vez en forma de ensayo. Como es natural, no carece de dificultades la separación del polvo arrastrado por el vapor de agua. No obstante, la dificultad principal estriba en la enorme producción de polvo a que da lugar la desecación. Las dificultades son las mismas que con el método de pulverización de pasta. Si las partículas de material que se hallan en suspensión en el tambor secador llegan a un estado de sequedad suficiente, son arrastradas en gran cantidad por el vapor recalentado. Esto ha hecho imposible su puesta en práctica en escala industrial. En cambio, si las gotitas de pasta todavía húmeda llegan a las paredes del tambor, cosa que puede conseguirse fácilmente, disminuyendo algo la presión en las boquillas, o bien haciendo circular menor cantidad de vapor, resulta que la superficie de intercambio de calor desde el punto de entrada hasta el punto de salida de los tambores secadores es entonces muy pequeña, y la desecación se termina prácticamente al ponerse en contacto el material con las paredes, entrando la pasta en el horno después de haber experimentado tan sólo un moderado espesamiento.

Es indudable que el calentamiento indirecto y el espesamiento de la pasta representan un rodeo que no sólo implica pérdidas de calor, sino también una complicación en las instalaciones. No es extraño, pues, que hayan abundado los ensayos de procedimientos destinados a desecar la pasta por su inmediato contacto con los gases de escape. Entre los numerosos ensayos efectuados en este sentido, que durante los últimos años han sido llevados a cabo, mencionaremos aquí sólo algunos, que representan casos típicos de los distintos procedimientos a seguir. La parte común a todos ellos es la de proceder al espesamiento de la pasta en un aparato especial, antes de que entren en el horno.

En la fig. 6 (véase pág. 1360) la instalación comprende, como puede verse, un secador de discos. Sobre uno o varios ejes horizontales van fijos una serie de discos. En el caso de que sean varios los ejes, los discos se hallan dispuestos de manera alternada, a fin de que los de un eje correspondan a los huecos de los discos del otro. Cuando los discos se sumergen en una artesa llena de pasta, arrastran consigo al girar cierta cantidad de pasta y la elevan por adherencia. La mitad superior de los discos queda interpuesta en la corriente de los gases procedentes del horno, que circulan paralelamente al plano de los discos y desecan la pasta adherida a ellos. El material desecado es desprendido o arrancado de los discos por medio de rascadores y devuelto en unos casos al depósito de pasta, o en otros enviado directamente al horno. Para la extracción de la pasta espesa de la artesa donde van los discos se emplea un tornillo o espiral transportadora. El movimiento de los discos es el conveniente para que los gases circulen en dirección contraria a la que lleva la materia a desecar adherida a su superficie.

Este dispositivo no ha logrado ningún éxito resonante, cosa que se debe a diversas circunstancias. Por una parte los discos tienen que ser de diámetro bastante grande, para que puedan ofrecer una superficie suficientemente grande para el intercambio del calor. El contacto de los gases con los discos ocasiona una resistencia bastante elevada. Además, lo mismo que en el caso de las cadenas existe el peligro de que los discos se quemen si se llega a un grado muy avanzado de desecación del material. Todas estas circunstancias juntas hacen que este dispositivo no puede sustituir ventajosamente a otros dispositivos de espesamiento. Cuando el cemento se quiebra por vía seca, se dispone en estos últimos tiempos del método Lellep, que como es sabido, da muy buenos resultados; las primeras materias crudas se moldean en forma de gránulos o bolitas, añadiendo un 10% de agua, y luego se llevan a una parrilla móvil sobre la cual son extendidos en forma de capa, a fin de que las atraviesen los gases de

escape del horno aspirados por un ventilador adecuado. Este procedimiento se caracteriza particularmente por las bajas temperaturas de los gases una vez que han atravesado la parrilla móvil. Es lógico pensar que dicho proceso podría también modificarse para su aplicación a la cocción de la pasta en el método de vía húmeda. Efectivamente, se han estudiado diversos proyectos de esta clase. La mayor parte consisten en desecar previamente la pasta en un dispositivo preliminar, moldearla luego en gránulos o bolitas, y cocerla después por el método Lellep. Es evidente que este proyecto rodea las dificultades que residen precisamente en hallar una disposición adecuada que trabaje sin averías ni perturbaciones y que sirva para espesar la pasta empleando la cantidad de calor más reducida posible.

Con objeto de vencer tales dificultades, en la instalación representada en la fig. 7 (v. pág 1361) se ha proyectado una disposición consistente en espesar primero mecánicamente la pasta, hasta dejarla a un 25% de agua aproximadamente. Queda entonces en un estado como de barro espeso, es decir, incapaz ya de fluir, pero que no se desmorona todavía formando grumos, sino que se conserva consistente como la manteca. De todos modos, puede ya moldearse en forma de salchichas o algo parecido, que sólo se pegan unas a otras difícilmente, si se tiene cuidado de extenderlas en capa delgada. En el dispositivo de la fig. 7 (v. pág 1361) se trabaja en esta forma pasta que contenga a lo más un 25% de agua, que luego se extiende sobre una parrilla anular, que consta de barras radiales muy juntas unas a otras, y que gira lentamente alrededor de un eje vertical mecánicamente impulsado. Los gases de escape del horno previamente enfriados considerablemente, inciden a contracorriente sobre la parrilla y continúan la desecación de la pasta espesa. Cuando la parrilla rotatoria ha realizado ya una rotación completa, el material se halla suficientemente desecado para adquirir una estructura grumosa y desmoronarse fácilmente. En tales condiciones ya no es de temer que se apelotonen sus partículas. Mediante unos dispositivos sacudidores adecuados, las galletas de pasta desecada desmenuzadas pasan a través de las rendijas de la parrilla y caen sobre una segunda parrilla anular que se encuentra debajo de la primera y que preferiblemente suele estar formada por varios anillos de parrilla escalonados unos sobre otros. El material permanece sobre esta parrilla durante toda una vuelta. Se calienta por la acción de los gases de escape del horno acabados de salir del mismo, que igualmente que el material son aspirados a través de la parrilla en sentido de arriba abajo. Sobre dicha parrilla se termina la desecación del material y empieza su descarbonatación. En la forma corriente, el material es barrido de la parrilla inferior y conducido al horno rotatorio, con el fin de terminar allí su cocción. Los gases de escape del horno atraviesan primero la parrilla inferior, y luego por un conducto no representado en la figura pasan a la parrilla superior; de ella deben salir con una temperatura de 100° únicamente.

En este dispositivo es discutible si se puede lograr o no sobre la parrilla superior una descación importante del material. Es conveniente, por consiguiente, que a la parrilla superior se lleve tan sólo pasta espesa; es necesario, pues, efectuar el espesamiento de la pasta en su mayor parte en aparatos espesadores, sea de índole mecánica, sea por medio de filtros. Sobre los medios posibles para esta operación trataremos más adelante con algún detalle.

Como es sabido, el antes mencionado procedimiento Lellep sólo sirve adecuadamente para material seco, ya que los gases pueden con facilidad ser aspirados a través de un material granulado o en forma de grumos, pero de ninguna manera a través de una materia fluida. Además, la pasta se caería a través de

las rendijas de la parrilla. Para hacer que la pasta adquiriera una estructura granulada, la fig. 8 (v. pág. 1362) indica un medio adecuado. La pasta se mezcla, por ejemplo con restos de refractario o bien con cualquier otro material sólido de la misma índole. De esta manera se consigue una estructura en cierto modo más esponjosa. Los restos de refractario contribuyen a que los gases encuentren paso fácil a través de la masa. Para el proceso de desecación previa, se emplea un dispositivo formado por una cuba vertical, en la que se echan desde arriba los fragmentos refractarios y la pasta. Por la parte de abajo dicha cuba está cerrada por tabiques dispuestos en forma de criba, a través de los cuales pueden entrar en la cuba los gases de escape del horno, mientras que la mezcla de refractarios y pasta es conducida a través de los tabiques tamizadores hacia un tambor cribador en la cual la pasta desecada es separada de los restos o fragmentos de refractario. La pasta desecada es conducida mediante un mecanismo transportador al horno rotatorio, en tanto que los fragmentos de refractario son devueltos a la alimentación de la cuba; estos últimos, por consiguiente, recorren constantemente un circuito cerrado. Su temperatura máxima no puede subir de unos 100°, porque la pasta, al abandonar la cuba todavía contiene cuando menos indicios de agua. Las pérdidas de calor ocasionadas por los refractarios en cuestión no pueden, por lo tanto, ser muy grandes, y se limitan a las producidas por la radiación al trasladar el material desde el tambor cribador hasta el extremo superior de la cuba de entrada.

La construcción necesita estar hecha con sumo cuidado. La separación de los fragmentos de refractario y la pasta no puede ofrecer grandes dificultades, dado que tampoco es necesaria una separación muy escrupulosa de ambos elementos. Lo principal es que las masas de pasta puedan ser absorbidas por los fragmentos inertes de refractario sin entorpecer demasiado el paso de los gases por la cuba vertical, o lo que es lo mismo, sin exigir un consumo exagerado de energía para el ventilador dispuesto a continuación de dicha cuba. Puede darse también el caso de que la pasta no pueda ser retenida en cantidad suficiente por los trozos de refractario, y que a través de los huecos de la masa refractaria se escurra con excesiva fluidez antes de que pueda ser efectuada su desecación. Además existe el peligro de que el polvo arrastrado hacia la cuba por los gases de escape del horno obture en corto tiempo los orificios de paso a través de los tabiques cribadores. Todas estas dificultades representan de todos modos obstáculos fácilmente superables. Así, por ejemplo, se puede modificar el tamaño de los trozos de refractario, y en consecuencia su capacidad de absorción para la pasta, pudiéndose también sustituir dichos refractarios por elementos metálicos de forma adecuada o por fragmentos de clinker de cemento. Finalmente, no es obligatorio el empleo de la forma de cuba vertical, sino que se podría utilizar en su lugar cualquiera otra de las disposiciones conocidas.

El empleo de aparatos mecánicos de deshidratación para la desecación previa de la pasta cruda ha sido ya mencionado más arriba. Los ensayos más antiguos de esta clase de aparatos son evidentemente los de Ritter-Zahony, en la fábrica de cemento Portland de Weissenegger, en la Obersteier Mark (Austria). Estos ensayos fueron efectuados ya con éxito antes de la guerra, clasificándose el proceso como método de vía seca pasta espesa. Según él, se procede de la siguiente manera: la pasta se deshidrata hasta un 15% de agua en prensas-filtro, y de allí pasa a un horno rotatorio ordinario. Los fragmentos de pasta, antes de su entrada en el horno, se desmenuzan un poco, cosa que según parece evita eficazmente la formación de polvo en el horno. Los trozos se conservan durante su paso por el horno en su mayor parte dentro de sus dimensiones primitivas, o por lo menos en una forma granulada. La tem-

peratura de los gases de escape (420°) en aquella época resultaba interesante para lo que se podía lograr con hornos de 30 m. de longitud, pero actualmente ya no lo es tanto. La fig. 9 (v. pág 1363), representa una disposición esquemática de la instalación, con pequeñas modificaciones. El aparato filtrador se halla dispuesto encima de la cabeza del horno; los fragmentos de material que contienen de un 15 a un 20% de agua pasan de allí a una prensa, cuyo tubo de desembocadura atraviesa la cabeza del horno y su descarga va a parar directamente al horno, en el cual vierte su material. La prensa corta el material a su salida en pequeños fragmentos, de manera que llega al horno en nódulos del tamaño del puño. La disposición de la prensa cortadora tiene por objeto obtener fragmentos de mayor resistencia y aproximadamente de tamaño uniforme, con lo cual se asegura la uniformidad del producto y se evita la producción de polvo, aun tratándose de materiales que tengan tendencia a desmenuzarse. Es sensible que, como se ha visto posteriormente, el proceso de vía seca y pasta espesa sólo sea adecuado para escaso número de primeras materias. La deshidratación mecánica por medio de filtros-prensas o por otros dispositivos no se logra siempre en todos los casos en que el agua se encuentra retenida en el material en forma coloidal. Y en la mayor parte de los casos sucede así. En Alemania, el procedimiento no ha tenido aceptación, y en la mayor parte de los países ha sucedido lo mismo. Ciertamente merece mencionarse, a pesar de todo, que en algunos casos ha logrado completo éxito, como por ejemplo lo ha obtenido una instalación en fecha muy reciente, llevada a cabo por la Arkansas Portland Cement Company, en el Arkansas (E.U.A.). En este caso se trabaja con una pasta que contiene un 50% de agua. Por medio de filtros se lleva a cabo una deshidratación que reduce la dosis de agua a un 28' ó 29%. Como esta dosis de humedad todavía presta cierta plasticidad al material, siempre existe el peligro de que éste se apelozone en el horno, por lo cual en el extremo superior del mismo se han dispuesto una especie de cuchillas, que consisten en chapas cortas dispuestas radialmente, de una altura de unos 30 cm., que tienen asimismo la misión de impedir la formación de bolas del material, a la vez que lo impulsan hacia el interior del horno. Para esta última finalidad se les da una forma de aletas helicoidales. De primera intención se instaló ya un horno de 90 m. de longitud y 3,50 m. de diámetro, y se proyecta añadir más tarde otras dos unidades.

Las dos instalaciones últimamente citadas trabajan además con un tubo rotatorio abierto. La economía de calor conseguida no es muy buena, por consiguiente. La instalación desde este punto de vista no corresponde ya a los adelantos conseguidos por la técnica en los últimos tiempos. Conviene mucho más, para las instalaciones en que la pasta es transformada en fragmentos sólidos antes de su introducción en el horno, el empleo de alguno de los hornos modernos, proyectados para la cocción por vía seca, y aprovechar luego el calor de los gases de escape, hasta unos 100° , como se hace por ejemplo en el horno Lellep. Evidentemente, pueden existir razones que, en el caso de la instalación de Arkansas, justifiquen la adopción de un tubo rotatorio liso, con su deficiente aprovechamiento del combustible, y su mal rendimiento económico. Puede suceder, por ejemplo, que se disponga de un combustible muy barato, como el gas natural, de forma que carezca de objeto un aumento del aprovechamiento del calor obtenido con el combustible. De todos modos, da que pensar la instalación de un horno de 90 m. de longitud, que de por sí no tiene ya nada de económico en su coste.

Existe también el proyecto de emplear en una instalación con filtros para el espesamiento de la pasta, una combinación de horno rotatorio y parrilla móvil. La instalación está representada esquemáticamente en la fig. 10 (v. pág 1364).

El material crudo pasa en primer término a un filtro, luego a un tambor, donde gracias a su rotación los fragmentos de pasta se convierten en pequeñas bolitas. En el caso en que el material al salir del filtro todavía esté demasiado húmedo, se le puede mezclar con crudo seco pulverizado. Basta para ello una pequeña cantidad, que puede ser tomada directamente de la cámara de polvo, dispuesta a la salida del horno rotatorio, de manera que la instalación de un molino especial, etc., para preparar dicho crudo seco, es completamente innecesaria. A continuación el material se extiende sobre una parrilla móvil, y finalmente pasa por una tolva hasta el horno rotatorio. Por desgracia, los filtros, como ya se ha dicho antes, rara vez son adecuados para la preparación de las pastas de cemento. Si no fuese por esto, estas instalaciones constituirían indudablemente la solución ideal para la cocción de las pastas en el proceso por vía húmeda.

Finalmente, deben mencionarse aún dos procedimientos, en los que se procura obtener en forma muy sencilla el espesamiento de la pasta. Por el primer proceso, el clinker caliente, desviado del enfriador, es llevado junto con la pasta húmeda a un tornillo mezclador. El calor del clinker recién cocido sirve entonces para la vaporización del agua de la pasta. Una vez terminado el intercambio de calor, se separan ambos elementos de nuevo en una máquina cribadora apropiada. Aun cuando parte del clinker quede retenido en la pasta espesa, no representa esta circunstancia ningún inconveniente, porque carece en absoluto de influencia, sobre la calidad del producto, el que parte del material haya sufrido dos veces la cocción. Es ya menos agradable el que parte de la pasta pueda quedar retenida por el clinker. En tal caso es necesario rociar el clinker con agua mientras se criba. El agua puede luego servir para el amasado de la pasta.

Según indica el cálculo, el calor del clinker aun en el mejor de los casos sólo puede vaporizar parte del agua de la pasta; aparte de que en los hornos rotatorios modernos el calor arrastrado por el clinker se utiliza ya para calentar preliminarmente el aire comburente. El aprovechamiento del calor del clinker para espesar la pasta no puede por lo tanto considerarse como gratuito. No se trata de un manantial de calor como el de los gases de escape, que de no aprovecharse se perdería inútilmente en la chimenea. El calentamiento previo del aire comburente ofrece asimismo sus ventajas. El encendido del combustible se efectúa más rápidamente; la temperatura en la cámara de combustión es más elevada. Se puede, por consiguiente, emplear un combustible de menor potencia calorífica. A todas estas ventajas hay que renunciar cuando se quiere emplear el calor del clinker para espesar la pasta. Este procedimiento tampoco ha tenido aceptación en la práctica.

Finalmente, se ha proyectado también transformar la pasta fluida en un material granulado mediante la adición de crudo seco. Esto convendrá según lo que se quiera lograr. Si la pasta corriente con un 40% de agua tiene que ser transformada en un crudo con 20% de agua, es necesario agregar dos tercios de crudo seco. Para la preparación de éste hay que recurrir a medios que anulan todas las ventajas de la preparación por vía húmeda. Esta disposición debe excluirse ya de antemano. Se arguye que en el método por vía seca, en hornos rotatorios ordinarios, la temperatura de los gases de escape viene a ser de unos 800°, mientras que por vía húmeda sólo es de unos 400°. Esto implica un consumo de combustible mucho mayor para la vía húmeda. Se dedujo de esto que bastaría agregar a la pasta una pequeña cantidad de crudo seco, equivalente precisamente a la cantidad de pasta cuya agua podría vaporizarse con el descenso de temperatura de los gases de escape entre 800 y 400°. Esto equivale a admitir que la pasta espesada de esta manera permitiría

lograr también una temperatura de 400° pero en manera alguna ocurre así, antes bien la temperatura de los gases de escape, para una longitud de horno determinada y una producción dada del mismo, depende de la dosis de agua del material. Además, con esta adición de tan pequeña cantidad de crudo seco, existe el inconveniente de que es necesario hacer funcionar simultáneamente dos instalaciones, una de preparación por vía húmeda y otra de preparación por vía seca, aparte de que la adición de una cantidad de crudo seco, aun cuando no sea abundante, siempre perjudica la calidad del producto. No es lo más importante el que el crudo preparado por vía seca represente una cantidad relativamente pequeña, sino que no se esté en condiciones de mezclar de manera irreprochable las dos materias; las desventajas de este procedimiento, por consiguiente, superan a sus ventajas.

Las precedentes consideraciones indican que el objeto de todas estas disposiciones es la instalación de maquinaria que trabaje con perfección y procesos que impliquen un coste tolerable para la cocción del cemento, partiendo de la pasta como primera materia, y que proporcionen resultados tan favorablemente económicos como los que proporcionan los métodos modernos de vía seca. Debe mencionarse, además, que salvo algunos casos especiales que sólo tienen importancia local, esta finalidad todavía no ha sido alcanzada. Existen, de todos modos, algunos éxitos de los dispositivos en cuestión.

Reseña de los progresos del cemento en el año 1930.—III.

por OTTO FR. HONUS.

SEGÚN los ensayos de H. Richarz⁸³, las resistencias a la tracción de los cementos Portland puzolánicos unas veces caen por encima y otras por debajo de las del cemento Portland. Los aumentos de resistencia suelen tener lugar cuando se opera con arena normal, y deben atribuirse al mejor relleno de los poros que realiza el trass o puzolana finamente molido. Las resistencias a la compresión en su mayor parte son inferiores a las de los cementos Portland correspondientes. El trass desplegará excelentes propiedades siempre que sea molido junto con clinkers muy altos en cal.

A. A. Bado⁸⁴ estudia la influencia de la adición de puzolana (de un 30 a un 50%) al cemento Portland, sin haber podido observar en ningún caso efecto alguno nocivo como consecuencia de tal agregación.

Destrucción.—Al desaparecer por disolución la cal del cemento bajo la acción de una solución de azúcar bruto se ha producido una clase de disgregación o destrucción, que según Th. Merriman⁸⁵ imita la destrucción, bajo la acción de las soluciones sulfatadas. Para caer dentro de las circunstancias de una solución corrosiva de sulfatos, la solución azucarada tiene también que ser adicionada previamente con una cierta cantidad de cal. Al valorar la cal por medio del anaranjado de metilo se obtienen valores más altos que si se hace con fenolfaleína, porque se valora al mismo tiempo la cal combinada con la SiO_2 , la Al_2O_3 y el Fe_2O_3 . Esta diferencia corresponde también a las diferencias existentes entre dos cementos desde el punto de vista químico, por lo cual se ha

⁸³ "Zement," 19, p. 120-23, 144-48, 1930.

⁸⁴ "Anales Asoc. Quim." Argentina, 17, p. 216-20.

⁸⁵ "Engin. News Record," 104, p. 62-4, 1930.

propuesto prescindir de dicha diferencia en la valoración. La inalterabilidad depende de la dosis de alúmina, circunstancia que fué comprobada en 32 cementos.

Innovaciones en la construcción de hornos.

La Krupp-Grusonwerke A.G.⁸⁶ propone fabricar cemento fundido en un horno caracterizado por disponer sobre su solera, en la cámara de cocción, una o varias columnas de material cuyas superficies laterales tienen el correspondiente talud; sobre dichas superficies actúa la llama que debe cocer el material; con lo cual los gases procedentes de la llama en cuestión son conducidos hacia puntos de la cámara de cocción exteriores a las zonas de la llama principal, y a través de las paredes de la misma pasan a la columna de alimentación, para luego, después de atravesarla, ser descargados al exterior. Sirve como dispositivo adecuado un horno vertical de dos o más montantes, con una cámara de cocción dispuesta entre ellos. En la parte inferior los montantes y la cámara de cocción se hallan enlazados; mediante la innovación de que se trata se ha tendido a evitar la aglomeración y adherencia del material sobre la superficie de la columna de alimentación. Según St. Kokut⁸⁷, la cocción del cemento fundido se efectúa en dos hornos separados por una división y acoplados entre sí, con un dispositivo distribuidor. En el primer horno, el crudo se calienta, previamente gracias a los gases de escape del segundo horno; en este último tiene lugar la fusión. Para evitar que con el calentamiento previo tenga lugar un reblandecimiento de la masa, los gases calientes procedentes del segundo horno son mezclados con otras sustancias o gases que los enfrían, como por ejemplo los gases de escape del horno de calentamiento previo, vapor de agua, etc. La Soc. An. des Chaux et Ciments de Lafarge et du Teil, Francia, propone conectar varios hornos de llama⁸⁸ con el dispositivo alimentador calentado, de acuerdo con la patente principal⁸⁶, por medio de los gases de escape procedentes del horno de cemento fundido; en dichos hornos de llama se funde la mezcla cementicia. Junto con la Soc. d'Electro-Chimie, d'Electro-Metallurgie et des Acieries Electriques d'Ungine, efectúan la cocción del cemento conduciendo la mezcla de primeras materias a un horno vertical alimentado desde arriba y calentado con gases de un hogar dispuesto a uno de sus lados; de esta manera la mezcla cruda se calienta y descarbonata. Combinado con este horno vertical y enlazado a él por su parte inferior se halla un horno eléctrico, dispuesto horizontalmente, en el cual el material descarbonatado es vitrificado y cocido. Con objeto de obtener de manera uniforme productos de alto valor y de composición constante, E. Moyat⁸⁹ propone inyectar en una cámara de reacción las materias de partida finamente molidas, junto con el combustible, con lo cual el crudo se funde por su íntimo contacto con la llama producida por la combustión. El material fundido pasa a un cilindro rotatorio, y las costras que del mismo se forman sobre éste son desincrustadas y trituradas después en la forma ordinaria. La fusión del cemento es obtenida por G. Polysius⁹⁰ en una cámara de acumulación formada en la parte posterior del horno rotatorio, mediante un ensanchamiento o aumento del diámetro, y a la cual el material es conducido antes de que se empiece a reblandecer, produciéndose además allí un íntimo mezclado del material que se funde. En esta cámara de acumulación pueden ser introducidas sustancias

⁸⁶-Patente alemana No. 490758.

⁸⁷-Patente francesa No. 665027 y 576859.

⁸⁸-Patente francesa 571329 (1924).

⁸⁹-Patente francesa 36403.

⁹⁰-Patente francesa 683037.

⁹¹-Patente alemana 571521.

⁹²-Patente austriaca 118717.

fundentes. A. Bues⁹³, de Berlín, obtiene cementos cocidos uniformemente y sin defecto en un horno vertical, insuflando en él la pasta cruda por una boquilla o pulverizador dirigido de arriba abajo. La insuflación del combustible y el aire se efectúa por la parte inferior del horno, por medio de otra boquilla dirigida de abajo arriba.

R. D. Pike⁹⁴ diserta acerca de la cocción en varias fases del clinker de cemento Portland, y describe instalaciones en las que la expulsión del anhídrido carbónico y del agua (calcinación) se efectuaba en hornos verticales, y la cocción para convertir el material en clinker, en hornos rotatorios enlazados con los primeros. Menciona tres disposiciones: 1, un horno vertical en combinación con un horno rotatorio; 2, dos hornos verticales, enlazado cada uno de ellos con un horno rotatorio, con lo cual los gases de escape de dicho horno rotatorio son aspirados a través del horno vertical; y 3, la misma disposición, haciendo pasar el calor sobrante a una caldera, enlazada a una instalación de potasa; de las tres disposiciones la última es la que trabajaba con mejor rendimiento económico. A. Nilson⁹⁵, Noruega, ha patentado un horno rotatorio en el que se halla rellena más de la mitad de la sección transversal del mismo.

W. Schroeder⁹⁶, de Berlín, obtiene con fosforita, bauxita y carbón, ácido fosfórico y cemento, mediante su cocción en hornos de pisos, de cámaras o anulares, o bien de forma análoga. A. Andreas⁹⁷, de Münster, con el fin de labrar cemento fundido en horno rotatorio dispone un anillo de retención desplazable en el límite entre las zonas de descarbonatación y de fusión. Con la misma finalidad, las Fábricas Reunidas de Ladrillos y Cemento, S.A.⁹⁸, de Budapest, emplean un horno de pisos y un horno de llama conectado después de la zona de fusión del horno vertical, provistos de hogares independientes, pero con descarga común para los gases de la combustión.

El extremo de descarga del horno rotatorio de J. S. Fasting⁹⁹, de Copenhague, se halla rodeado de una corona de cilindros enfriadores, que sobresalen del mencionado extremo del horno. El tubo del horno en sus paredes tiene unas aberturas de descarga dispuestas en forma de rejillas, enlazadas por medio de conductos con los cilindros enfriadores.

El horno vertical de A. Ch. Davis¹⁰⁰, de Londres, pertenece al modelo en que el crudo es insuflado de abajo arriba y vuelve a caer luego en forma de nube.

Varios.

A. Weissmann¹⁰¹, que añade al crudo de cemento el polvo arrastrado por los gases precisamente a la entrada del horno, manifiesta que éste, si no se mezcla bien con el clinker, es de nuevo expulsado del horno, y propone por consiguiente añadir dicho polvo al crudo al efectuar la mezcla. P. P. Budnikow, G. W. Kukolew y W. M. Leschojev¹⁰² han estudiado la influencia de los fluidificantes sobre el grado de subdivisión de las primeras materias del cemento en el caso de molturación húmeda. Según sus resultados, la fluidez de la pasta clara depende en gran medida de los fluidificantes agregados. Como fluidificantes fueron empleados una solución de sosa a 0,04 n., y una solución de melaza al 0.1%, referidas dichas concentraciones al peso de pasta. En presencia de tales fluidi-

⁹³ Patente alemana 505285.

⁹⁴ Ind. Eng. Chem., 22, p. 148-52, 1930.

⁹⁵ Patente alemana 490799.

⁹⁶ Patente alemana 490803.

⁹⁷ Patente alemana 493841.

⁹⁸ Patente alemana 490759.

⁹⁹ Patente alemana 498505.

¹⁰⁰ Patente alemana 498406.

¹⁰¹ "Tonind. Ztg.", 54, p. 563, 1930.

¹⁰² "Zement", 19, p. 96, 1930.

ficantes, la molturación fué mucho más fina, alcanzando las partículas de 0,01 mm. la proporción de un 70%, contra la de un 58,5% en los casos en que no se ponía el fluidificante. La melaza de azúcar, la sosa, el carbonato sódico y el NaOH, que a consecuencia de su efecto peptizante elevan la fluidez de la pasta cruda en tan alto grado, que a igualdad de viscosidad, la pasta de agua puede ser rebajada del 48 al 42%, dan por resultado una economía de combustible del 8,3%¹⁰³.

K. Biehl¹⁰⁴ manifiesta que, entre todas las sustancias empleadas para aumentar la fluidez del cemento Portland, la que mayor efecto fluidificante ejerce sobre la pasta espesa es la legía de sulfito. Con objeto de lograr una reducción de la dosis de agua en la pasta de cal o de cemento, H. Vierheller¹⁰⁵, de Berlín, añade al agua de amasado pequeñas cantidades de productos o aguas residuales, que contienen sustancias animales o vegetales en descomposición, putrefacción o fermentación. Una pasta cruda de cemento que en presencia de legías residuales de celulosa contiene un 36,5% de H₂O poseía igual fluidez que la misma pasta sola, con una dosis de agua del 41,5%.

Según G. Böhm y D. Steiner¹⁰⁶, en América hay 30 fábricas que trabajan con filtros aplicados a la producción de cemento por el método de vía húmeda. Se pueden filtrar bien pastas que en el agua se sedimentan rápidamente. Por vía seca se trabaja con 5 a 10%, por el método de pasta espesa con 34 a 42%, y por el método de filtración con 17 a 23% de agua. La pasta tiene que ser dosificada uniformemente, y no ser demasiado clara; las temperaturas elevadas favorecen la filtración. C. H. Sonntag¹⁰⁷, calcula que la filtración de la pasta cruda antes de la cocción es más económica que la vaporización del agua en el horno rotatorio.

Rissel¹⁰⁸, menciona datos relativos a dispositivos reguladores automáticos de la temperatura. A. B. Helbig¹⁰⁹ defiende la opinión de que el cemento molido con separadores de aire es preferible al cemento fabricado en refinos tubulares.

La ensacadora "Rotary Fluxo."

La ensacadora "Rotary Fluxo" es una máquina destinada a ensacar y pesar cemento, cal molida, fosfatos molidos, cenizas de sosa y otras materias semejantes finamente molidas, en sacos de válvula de papel o de yute.

Después de estudiar a fondo todas las características necesarias para el envasado más económico, se dedicó la máxima atención a: (1), reducción del tamaño de los sacos; (2), alcanzar precisión en la pesada; (3), reducción del coste de la operación; (4), aumento del número de sacos envasados por hora y por hombre a 1200-1400; y (5), construcción de una máquina en que no entraran piezas de movimiento rápido.

Para evitar que el aire se introduzca en el saco durante su llenado, la envasadora "Rotary Fluxo" se halla provista de diez boquillas, y aun cuando la máquina llena de 1200 a 1400 sacos por hora, el tiempo destinado a cada saco es más prolongado que lo corriente.

En lo relativo a su construcción, la envasadora "Rotary Fluxo" difiere esencialmente de todos los demás tipos de envasadoras para sacos de válvula.

¹⁰³ "Kolloid. Ztschr." 52, p. 341-48, 1930.

¹⁰⁴ "Tonind. Ztg." 54, p. 396-97, 1930.

¹⁰⁵ Patente alemana 577573.

¹⁰⁶ "Zement," 19, p. 768, 1930.

¹⁰⁷ "Zement," 19, p. 302-4, 1930.

¹⁰⁸ "Zement," 19, p. 217, 1930.

¹⁰⁹ "Zement," 19, p. 237-39, 1930.

El material a envasar y pesar se fluidifica mediante la adición de una pequeña cantidad de aire comprimido, acompañada de la acción de un dispositivo agitador, y entonces, por su propio peso hacia los sacos por las boquillas de llenado; manteniéndose la carga constante en la tolva de alimentación, la corriente puede ser regulada con tanta precisión como si el material de que se trata fuese un verdadero fluido.

Con objeto de introducir en los sacos la mayor cantidad posible de material, el llenado se efectúa en dos fases. En la primera el saco queda casi lleno. Luego se le golpea con unos pequeños batidores por la parte exterior, con lo cual se da lugar a que el aire salga y el material se asiente y ocupe el espacio menor posible. Hecho esto, tiene lugar el segundo llenado, y cuando se ha obtenido el peso conveniente, cae la palanca de que está suspendido el saco, y se interrumpe la salida del material. El saco se descarga automáticamente de la ensacadora.

Según se ve en la fig. 1 (v. pág. 1254), la máquina va acompañada de una tolva cilíndrica de alimentación, con la cual van conectadas las boquillas. La tolva gira alrededor de su propio eje, y cada boquilla de llenado va pasando por delante del operario por turno sucesivo; la única misión de dicho operario consiste entonces en colocar los sacos vacíos en las boquillas. Un solo hombre puede con comodidad llenar de 1200 a 1400 sacos por hora.

En algunas máquinas ensacadoras, los operarios que las sirven pueden accionar una palanca y soltar el saco antes de que se halle completamente lleno, cosa que puede ser en detrimento de la precisión del peso. La capacidad de la envasadora "Rotary Fluxo" viene regida por la velocidad de la máquina, y no por el grado de práctica del operario, y la precisión del peso no puede ser influenciada por el, ya que los sacos se descargan automáticamente antes de que lleguen otra vez delante del operario.

La máquina descarga los sacos en un canalizo o plano inclinado que los puede depositar directamente sobre los vagones, o bien sobre un transportador de cinta que los conduce al vagón, al camión o a la embarcación. Se asegura que esta envasadora garantiza sacos más baratos, mayor precisión de peso, capacidad máxima y bajo coste de mano de obra. La fig. 2 (v. pág. 1255) representa el transportador que va desde la ensacadora a la sección de expediciones. La sección de expediciones está representada en la fig. 3 (v. pág. 1255). La máquina en cuestión está construida por la casa F. L. Smith & Co., Ltd.

ANUNCIOS.

Todos los encargos de anuncios en CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE deben dirigirse a "Concrete Publications, Limited," 20, Dartmouth Street, London, S.W., Inglaterra.

Todo texto de anuncios debe ser entregado en estas oficinas a más tardar el día último del mes precedente a la publicación. Si para dicha fecha no se ha recibido un nuevo texto, los editores se reservan el derecho de que no aceptan responsabilidad alguna acerca de su exactitud.

Si los anuncios han de publicarse en más de un idioma, el anunciante debe suministrar los textos traducidos. Si se desea, los editores se harán de dicho trabajo de traducción, pero solamente en la inteligencia de repetir el texto anterior.

